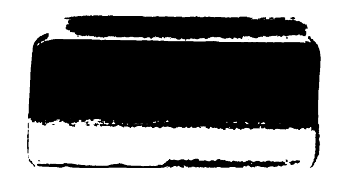




THE UNIVERSITY OF MICHIGAN
LIBRARIES
THE UNIVERSITY OF MICHIGAN
ARTES SCIENTIA VERITAS
1817


# GRUNDRISS

EINER

# GESCHICHTE DER NATURWISSENSCHAFTEN

ZUGLEICH EINE EINFÜHRUNG

IN DAS

STUDIUM DER NATURWISSENSCHAFTLICHEN LITTERATUR

VON

DR. FRIEDRICH DANNEMANN

I. BAND

*MIT 44 ABBILDUNGEN IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN*

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1896.



# ERLÄUTERTE ABSCHNITTE

AUS DEN WERKEN

# HERVORRAGENDER NATURFORSCHER

## ALLER VÖLKER UND ZEITEN

---

BEARBEITET VON

**DR. FRIEDRICH DANNEMANN**

*MIT 44 ABBILDUNGEN IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN*

---

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1896.

Druck der kgl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz in Würzburg.

# Vorwort.

Das vorliegende Buch verfolgt den Zweck, weitere Kreise, insbesondere die Schüler der oberen Klassen höherer Lehranstalten, Studierende, Techniker, kurz alle, die sich für Methode und Ergebnisse der exakten Forschung interessieren, in die grundlegende Litteratur und Geschichte der Naturwissenschaften einzuführen. Auch den Lehrenden hofft der Verfasser eine willkommene Gabe zu bieten.

Für das Fachstudium fehlt es nicht an geschichtlichen Bearbeitungen der einzelnen Disziplinen; ferner ist für dasselbe in den letzten Jahren durch Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann) ein vortreffliches Hilfsmittel geschaffen worden. Im naturwissenschaftlichen Unterrichte der höheren Lehranstalten dagegen hat das historische Element bisher noch wenig Berücksichtigung gefunden. Man beschränkt sich hier wohl in den meisten Fällen darauf, am Schlusse eines Teilgebietes einige Namen und Daten zu geben, die das Gedächtnis des Lernenden belasten, ohne eine entsprechende Anregung zu gewähren. So kommt es denn, dafs unsere heranwachsende Generation von Kopernikus, Galilei, Guericke, Lavoisier, Faraday und den übrigen Begründern der Naturwissenschaft kaum mehr als die Namen und den Hauptgegenstand ihrer bahnbrechenden Thätigkeit kennen. Und doch giebt es auch für den Anfangsunterricht, insbesondere aber für den Unterricht auf der Oberstufe, kaum ein wirksameres Mittel zur Belebung des Studiums „als das Eindringen in das geschichtliche

Werden der Probleme."[1]) Nicht um eine Vermehrung des Wissensstoffes handelt es sich hier, sondern um eine Vertiefung in denselben und eine dadurch bedingte Erhöhung der Einsicht.

Dieser Aufgabe suchen die beiden Teile des vorliegenden Werkes, von denen jeder ein durchaus selbständiges, für sich verwendbares Ganzes bildet, in verschiedener Weise gerecht zu werden. Der erste Teil, welcher hiermit der Öffentlichkeit übergeben wird, enthält eine Anzahl leicht verständlicher Abschnitte aus den hervorragendsten Werken der gesamten naturwissenschaftlichen Litteratur. Er ist gewissermafsen das, was für den Studierenden und den Lehrer der Geschichte das Quellenbuch bedeutet. Der eigentümliche Reiz, der den Gedankenentwicklungen der grofsen Forscher innewohnt, insbesondere die Frische, Ursprünglichkeit und Klarheit derselben, lassen sich durch keine blofs referierende Wiedergabe ersetzen. Diese hervorstechenden Eigenschaften der unmittelbaren persönlichen Kundgebung sind es auch, die gerade auf den jugendlichen Geist einen tiefgehenden Eindruck ausüben und in hohem Grade das Interesse für den behandelten Gegenstand erwecken.

Die im ersten Bande gebotenen Abschnitte, welche zum Teil für den vorliegenden Zweck übersetzt wurden, zum Teil auch der im gleichen Verlage erschienenen Ostwald'schen Sammlung entnommen sind, mufsten im Hinblick auf die Bestimmung des Buches frei bearbeitet und erläutert, zum mindesten aber einer Überarbeitung unterzogen werden. Kam es doch darauf an, in jedem Abschnitt trotz der gebotenen Kürze etwas Abgerundetes zu geben, was nur durch Fortlassung alles Unwesentlichen und heute nicht mehr Sachgemäfsen geschehen konnte. Auch auf Abänderung veralteter Schreib- und Ausdrucksweise wurde Bedacht genommen, ohne jedoch der Ursprünglichkeit des Gedankeninhalts oder der Schärfe des Ausdrucks Abbruch zu thun. Die Mehrzahl der nach der Zeitfolge geordneten und mit einer historischen Einführung versehenen Abschnitte lassen sich als Marksteine auf dem Pfade des wissenschaftlichen Erkennens betrachten. In ihrer Gesamtheit geben sie uns daher schon ein Bild der Entwicklung, zum wenigsten aber den passenden Rahmen für eine

[1]) Ostwald, Elektrochemie. Ihre Geschichte und Lehre V. Leipzig 1895.



Geschichte der Naturwissenschaften. Es seien diese Gesichtspunkte hier besonders hervorgehoben, damit der erste Teil nicht als Quellensammlung im gewöhnlichen Sinne aufgefafst, benutzt und beurteilt werde.

Durch eine in solcher Weise geknüpfte, unmittelbar gewonnene Bekanntschaft mit den wichtigsten Begebenheiten und den Hauptträgern der Geschichte der Wissenschaften wird dem Eindringen in die Zusammenhänge derselben am besten der Weg geebnet. Diese Zusammenhänge in ihren Grundzügen zu verfolgen und darzustellen, wird das Ziel des zweiten Bandes sein. Möge zunächst dieser erste Teil die in vorstehenden Worten kurz gekennzeichnete Aufgabe erfüllen; möge es auch ihm schon gelingen, in weiteren Kreisen ein Verständnis für den historischen Werdegang und geschichtliche Gröfse anzubahnen. Besitzt doch die letztere auf dem Gebiete der Wissenschaft ebensowohl ihr Feld als auf demjenigen der politischen Entwicklung der Völker.

Barmen, April 1896.

**Dr. Friedrich Dannemann.**

# Inhalt.

# 1. Aristoteles begründet die Zoologie.

## Abschnitte aus der Tierkunde des Aristoteles[1].

*Aristoteles wurde 384 v. Chr. zu Stagira geboren. Im 17. Lebensjahre kam er nach Athen, wo er bald zu den hervorragendsten Schülern Platos zählte. 343 wurde ihm von Philipp von Makedonien die Erziehung seines Sohnes Alexander übertragen. Nachdem letzterer zur Herrschaft gelangt war, kehrte Aristoteles nach Athen zurück und ward dort der Gründer einer Philosophenschule. Aristoteles starb im Jahre 322.*

*Seine Tierkunde (ἱστορίαι περὶ ζῴων), von der hier einige Abschnitte in freier Bearbeitung mitgeteilt seien, ist ein grundlegendes Werk und das bedeutendste zoologische Buch des Altertums. Es enthält nicht nur Beschreibungen der Tiere, sondern geht auch auf den Bau und die Verrichtungen der Organe, sowie auf Entwicklung und Lebensweise ein.*

Da uns der Mensch unter allen Geschöpfen am besten bekannt ist, so wollen wir uns zuerst mit den Teilen seines Körpers beschäftigen. Die Hauptabschnitte desselben sind Kopf, Hals, Arme, Beine und Rumpf. Am Kopf unterscheidet man Schädel und Antlitz; ersterer ist ein dünner, gewölbter, von einer fleischlosen Haut bedeckter Knochen. Unter den Brauen befinden sich die Augen. Das Innere derselben besteht aus einer Flüssigkeit, welche das Sehen vermittelt[2]; um diese ist eine schwarze und aufserhalb derselben eine weifse Haut vorhanden. Alle lebendig gebärenden

---

1) Zu Grunde gelegt wurde der kritisch berichtigte Text von Aubert und Wimmer. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1868.

2) Zu einer richtigen Vorstellung vom Sehen gelangte erst Kepler, welcher erkannte, dafs die Linse die Strahlen auf der Netzhaut vereinigt und dort ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes erzeugt.

Tiere mit Ausnahme des Maulwurfs besitzen Sehorgane; doch zeigt es sich, wenn man die Haut entfernt, dafs der Maulwurf gleichsam in der Entwicklung verkümmerte Augen hat, welche nur nicht äufserlich sichtbar sind. Das Ohr zerfällt in Muschel und Läppchen und ist aus Knorpel und Fleisch gebildet, das innere Ohr ist schneckenförmig und durch einen Gang mit der Mundhöhle verbunden[1]). Als Weg für den Atem dient die Nase, durch welche sowohl das Ein- und Ausatmen, als auch das Niesen stattfindet; letzteres besteht in dem Austritt von verdichtetem Atem und gilt als Vorbedeutung. Auch die Wahrnehmung der Gerüche geschieht durch dieses Organ.

Die Nase des Elefanten ist in einen starken Rüssel verlängert, der wie eine Hand gebraucht wird; mittelst desselben nimmt des Elefant seine Nahrung auf, trockene sowohl wie flüssige, und führt sie zum Munde, eine Eigentümlichkeit, wie sie im ganzen Tierreich nicht wieder vorkommt.

Unter der Nase befinden sich die Lippen, eine sehr bewegliche Fleischmasse. Teile des Mundes sind der Gaumen, der Schlund und die Zunge, das Organ des Geschmacks; letztere besteht aus lockerem Fleisch und geht in den Kehldeckel über. Im Halse befindet sich an der vorderen Seite die knorpelige Luftröhre, der Weg für die Stimme und den Atem, nach innen vor dem Rückgrat die fleischige Speiseröhre.

Am Rumpfe unterscheidet man vorn Brust, Bauch und Unterleib; die Teile des Rückens sind die beiden Schulterblätter, das Rückgrat und das Becken. Das eine Gliedmafsenpaar sind die Arme. Der Arm besteht aus Oberarm, Unterarm und Hand; letztere ist aus der Handwurzel[2]) und den fünf Fingern zusammengesetzt; von diesen hat der Daumen nur ein, die übrigen zwei Gelenke. Das Innere der Hand ist fleischig und durch Falten geteilt. Wenn deren eine oder zwei durch die ganze Fläche sich erstrecken, so ist dies ein Zeichen langer Lebensdauer; auf kurze Lebensdauer deutet dagegen, wenn zwei nicht die ganze Fläche durchziehen[3]). Die Teile des Beines sind der an beiden Enden mit

1) Dieser Gang, die Eustachische Röhre, verbindet den vor der Schnecke liegenden als mittleres Ohr bezeichneten Hohlraum mit dem Rachen.

2) Unter der Handwurzel versteht Aristoteles den Teil, welchen wir heute mit diesem Namen bezeichnen, samt der Mittelhand.

3) Wir ersehen aus dieser Angabe des Aristoteles, dafs abergläubische Vorstellungen mitunter ein recht ehrwürdiges Alter besitzen.

Gelenkköpfen versehene Oberschenkel, die bewegliche Kniescheibe, der aus zwei Knochen bestehende Unterschenkel und der Fuss.

Das Innere des Körpers ist beim Menschen am wenigsten bekannt, sodafs man hinsichtlich desselben auf die entsprechenden Organe der Tiere zurückgreifen mufs. Was den Kopf anbelangt, so liegt in seinem vorderen Teile das Gehirn, welches beim Menschen verhältnismäfsig am gröfsten ist. Es wird von zwei Häuten umgeben, einer stärkeren, die dem Knochen anliegt, und einer schwächeren, welche das Gehirn selbst umgiebt[1]). Dasselbe besteht bei allen Tieren aus zwei Hälften, an welche sich nach hinten das kleine Gehirn anschliefst.

Die Lunge ist zweiteilig. Bläst man in die Luftröhre, so füllen sich die Räume der Lunge mit Luft. Die Speiseröhre läuft, vom Munde aus, der Luftröhre parallel und führt durch das Zwerchfell in den Magen. Darauf folgt der gewundene Darm, welcher mäfsig weit ist, sich aber in seinem unteren Teile erweitert.

Das Herz liegt dort, wo sich die Luftröhre teilt; es führt von allen Eingeweiden allein Blut, denn die Lunge enthält es nicht in sich selbst, sondern in ihren Adern. Die Scheidewand des Rumpfes bildet das Zwerchfell; unter demselben liegt auf der rechten Seite die Leber, auf der linken die Milz.

Die lebendig gebärenden Vierfüfser sind fast alle dicht behaart, während der Mensch, vom Kopfe abgesehen, nur vereinzelte kurze Haare besitzt; am wenigsten behaart ist der Elefant. Eine Eigentümlichkeit der Kamele ist der Höcker, und zwar haben die baktrischen Kamele zwei Höcker, die arabischen nur einen.

Die lebendig gebärenden Vierfüfser sind entweder vielzehig, wie der Löwe, der Hund und der Panther, oder zweihufig, wie Schaf, Ziege und Hirsch, oder sie besitzen nur einen Huf, wie das Pferd. Den Tieren, welche Hörner tragen, hat die Natur meist zwei Hufe verliehen. Ein Einhufer mit zwei Hörnern ist uns niemals zu Gesicht gekommen. Die Hörner sind beim Hirsch[2]) massiv, sonst aber hohl. Das Horn geht aus der Haut hervor, die feste Masse dagegen, welche sich im Innern befindet, besteht aus Knochen, wie man beim Rinde sehen kann. Der Hirsch wirft alljährlich seine Hörner ab, erhält sie aber wieder; in den übrigen Fällen

[1]) Zwischen der von Aristoteles erwähnten harten und weichen Haut (dura und pia mater) befindet sich noch die sehr zarte Spinnwebenhaut (Arachnoïdea).

[2]) Aristoteles bezeichnet das aus Knochenmasse bestehende Geweih des Hirsches und das Horn des Rindes mit demselben Worte.

bleiben sie das ganze Leben hindurch, wenn sie nicht gewaltsam entfernt werden.

Auch im Gebifs weichen die Tiere untereinander und vom Menschen vielfach ab. Zähne besitzen alle lebendig gebärenden Vierfüfser, und zwar haben dieselben in beiden Kiefern entweder zusammenhängende Zahnreihen oder unterbrochene. Allen Hörnertragenden nämlich fehlen die Vorderzähne im Oberkiefer, doch giebt es auch Arten mit unvollkommenen Zahnreihen ohne Hörner, wie das Kamel. Manche haben Hauzähne, z. B. der Eber; ferner giebt es Tiere mit Reifszähnen, wie der Löwe, Panther und Hund. Hauzähne und Hörner zugleich besitzt kein Tier, auch kommen nicht Reifszähne neben Hauzähnen oder Hörnern vor[1]).

Zwischen dem Menschen und den Vierfüfsern stehen, was den Körperbau anbelangt, die Affen. Ihr Antlitz gleicht in mancher Hinsicht dem menschlichen, denn sie haben ganz ähnliche Nasen und Ohren und wie beim Menschen gebildete Vorder- und Backenzähne; ausserdem gleichen die Hände, Zehen und Nägel denen des Menschen, doch nähert sich alles mehr dem Tierischen. Eigentümlich sind die Füfse gebildet, indem sie fingerähnliche Zehen besitzen, auch gleicht die untere Fufseite der Handfläche. Die Affen gebrauchen die Füfse in doppelter Weise, als Greiforgane und zum Gehen.

Die Vögel allein unter allen Tieren sind zweibeinig wie der Mensch, sie haben weder Hände noch Vorderfüfse, sondern Flügel, Organe, welche dieser Tierklasse eigentümlich sind. Alle haben mehrspaltige Füfse. In der Regel sind die Zehen getrennt; bei den Schwimmvögeln aber sind die gegliederten, deutlich gesonderten Zehen durch Schwimmhäute verbunden. Die Vögel, welche hoch fliegen, haben sämtlich vier Zehen, von denen meistens drei nach vorn und eine nach hinten gestellt sind. Einige haben zwei nach vorn und zwei nach hinten gerichtete Zehen, wie der Wendehals[2]).

---

1) Hieran anknüpfend sagt Goethe in seiner „Metamorphose der Tiere“:
Denn so hat kein Tier, dem sämtliche Zähne den oberen
Kiefer umzäunen, ein Horn auf seiner Stirne getragen,
Und daher ist den Löwen gehörnt der ewigen Mutter
Ganz unmöglich zu bilden, und böte sie alle Gewalt auf;
Denn sie hat nicht Masse genug, die Reihen der Zähne
Völlig zu pflanzen und auch Geweih und Hörner zu treiben.

2) Der Wendehals, Jynx torquilla L., zur Familie der Spechte gehörig, ist ein in Mitteleuropa heimischer Vogel, welcher durch seine lebhaften Kopfbewegungen auffällt. Den Winter verbringt er in Nordafrika, berührt also auf seinem Zuge Südeuropa.

Der Mund ist bei den Vögeln eigentümlich gebildet; es sind weder Lippen noch Zähne vorhanden, sondern ein Schnabel. An Stelle der Ohren und der Nase finden sich nur diesen Sinnen dienende Gänge. Aufser den Lidern besitzen die Vögel eine aus dem Augenwinkel hervortretende Nickhaut; ferner haben sie weder Schuppen noch Haare, sondern Federn. Einige Arten haben auch Sporne, doch kommen krumme Krallen und Sporne nie zusammen vor.

Unter den Wassertieren bilden die Fische eine von allen übrigen gesonderte artenreiche Klasse. Sie besitzen weder einen Hals, noch Gliedmafsen; eigentümlich sind ihnen die Flossen, sowie ein Kiemenapparat, durch welchen sie das mit dem Munde aufgenommene Wasser wieder heraustreten lassen. Zum Teil besitzen sie Kiemendeckel; alle Haie und Rochen dagegen haben unbedeckte Kiemen, und bei den letzteren liegen sie auf der Bauchseite. Mit Ausnahme des Papageifisches[1]) haben die Fische Reifszähne, welche spitz sind und in mehreren Reihen, mitunter sogar auf der Zunge stehen. Alle haben Blut. Entweder pflanzen sie sich durch Eier fort, oder sie sind lebendig gebärend, wie die Selachier[2]).

Bis jetzt ist von den Bluttieren die Rede gewesen und dargethan worden, worin sie untereinander übereinstimmen und durch welche Eigentümlichkeiten die einzelnen Gruppen gekennzeichnet sind; wir wenden uns jetzt zu den blutlosen Tieren[3]). Sie zerfallen in mehrere Abteilungen, und zwar in die Kopffüfser, die Weichschaligen, die Hartschaligen und die Insekten. Zu den letzteren gehören, wie der Name sagt, alle diejenigen, welche Einschnitte haben; die Substanz ihres Körpers ist weder hart noch fleischartig, sondern hält dazwischen die Mitte. Es giebt sowohl flügellose Insekten, wie der Tausendfufs, als auch geflügelte, wie Biene und Wespe. Auch giebt es innerhalb derselben Art geflügelte und flügellose Formen, z. B. bei den Ameisen und Leuchtkäfern.

1) Gemeint ist Scarus cretensis L., ein von pflanzlichen Stoffen lebender Fisch des Mittelmeeres mit kleinen verwachsenen Zähnen, welche sich schuppenförmig decken.

2) Unter diesem Namen werden die Haie und die Rochen zusammengefafst, von welchen manche Arten ihre Eier ablegen, andere sie im Innern des Körpers zur Entwicklung bringen und somit lebendig gebärend sind.

3) Die aristotelische Gegenüberstellung von Bluttieren und Blutlosen entspricht der heutigen, von Lamarck herrührenden Einteilung in Wirbeltiere und Wirbellose (Siehe 37).

Die Kopffüfser besitzen Füfse, welche sich am Kopfe befinden, einen Mantel, der das Innere umschliefst, und Flossen rings um den Mantel. Es sind acht mit Saugnäpfen versehene Füfse vorhanden. Einige Arten, wie die Sepien, haben aufserdem zwei lange Fangarme; mit diesen ergreifen sie die Nahrung und führen sie zum Munde; bei Sturm befestigen sie diese Arme wie Anker an einen Felsen und lassen sich so von den Wogen hin- und hertreiben. Auf die Füfse folgt bei allen der Kopf, in dessen Mitte sich der mit zwei Zähnen versehene Mund befindet; darüber liegen die grofsen Augen und zwischen diesen eine knorpelige Masse, welche das Gehirn einschliefst.

Zu den Weichschaligen[1]) gehören die Languste, der Hummer, welcher sich von den übrigen durch den Besitz von Scheren unterscheidet, ferner die Garneelen und die Krabben. Bei ihnen findet sich die feste Masse aufsen, die weiche fleischartige innen; ferner haben sie harte Augen, welche bewegt werden können.

Die Schaltiere sind entweder einschalig, wie die Napfschnecke, oder zweischalig, wie die Kamm- und Miesmuscheln. Bei letzteren sind die Schalen auf der einen Seite mit einander verbunden, auf der anderen ohne Verbindung, sodafs sie geschlossen und geöffnet werden können. Einige haben glatte Schalen, andere rauhe, wieder andere gerippte, z. B. die Kammmuscheln. Das Fleisch ist mit den Schalen verwachsen, sodafs es sich nur mit Gewalt davon trennen läfst. Der Einsiedlerkrebs gehört gewissermafsen sowohl den Weichschaligen, als auch den Schaltieren an. Dieses Geschöpf ist den Langusten ähnlich, begiebt sich aber in eine Schale und lebt darin; doch ist es nicht mit derselben verwachsen, sondern läfst sich leicht davon loslösen.

Alle Insekten haben drei Abschnitte des Körpers, den Kopf, den Körperteil, welcher Magen und Darm enthält, und drittens den dazwischen liegenden Abschnitt, welchem bei anderen Tieren Brust und Rücken entprechen. Aufser den Augen haben die Insekten kein deutliches Sinnesorgan; manche besitzen einen Stachel, welcher sich entweder innerhalb des Körpers befindet, wie bei den Bienen und Wespen, oder aufserhalb, wie beim Skorpion[2]). Letzterer

[1]) Unter diesem Namen vereinigt Aristoteles die ihm bekannten Krebstiere.

[2]) Der Name Insekten, welcher heute die sechsfüfsigen Arthropoden bezeichnet, wurde von Aristoteles in viel weiterem Sinne gebraucht; er rechnete auch die Spinnentiere, sowie die Tausendfüfser und Eingeweidewürmer, kurz alle Geschöpfe mit Einschnitten rings um den Körper, zu den Insekten.

ist allein unter allen Insekten lang geschwänzt; ferner besitzt er, wie auch der kleine Bücherskorpion, Scheren. Einige Insekten haben über den Augen Fühler, z. B. die Schmetterlinge und Käfer. Im Innern findet sich ein Darm, welcher in der Regel bis zum After gerade verläuft, mitunter aber auch gewunden ist.

Nachdem wir die äufseren und inneren Teile der Tiere beschrieben, soll jetzt von den Sinnen die Rede sein. Es giebt deren nur fünf, Gesicht, Gehör, Geruch, Geschmack und Gefühl; manche Tiere haben alle Sinne, anderen fehlen einige. Bei vielen treten die Sinneswerkzeuge sehr deutlich hervor, besonders Augen und Ohren; einige haben äufsere Ohren, andere sichtbare Gehörgänge; ähnlich verhält es sich mit dem Geruchsorgan. Das Sinneswerkzeug für den Geschmack ist die Zunge. Unter den im Wasser lebenden Bluttieren haben die Fische zwar eine Zunge, dieselbe ist indes undeutlich und nicht frei beweglich. Dafs die Fische aber Geschmacksempfindung besitzen, ist offenbar; viele haschen vorzugsweise nach einem bestimmten Köder, weil ihnen der Geschmack desselben zusagt. Dagegen haben die Fische kein sichtbares Gehör- und Geruchsorgan [1]), obgleich sie hören und riechen. So hat man beobachtet, dafs sie starkes Geräusch fliehen, z. B. die Ruderschläge der Kriegsschiffe. Auch vermeiden die Fischer so viel wie möglich, mit den Rudern oder Netzen Geräusch zu machen. Ebenso verhält es sich mit dem Geruch der Fische; die meisten rühren den Köder nicht an, wenn er nicht frisch ist; auch werden nicht alle mit demselben Köder gefangen, sondern jede Art bevorzugt einen besonderen, wobei offenbar auch der Geruchssinn eine Rolle spielt. Auch die Insekten nehmen Gerüche von ferne wahr, wie die Bienen. Die Ameisen fliehen, wenn Schwefel um ihre Haufen gestreut oder Hirschhorn in der Nähe verbrannt wird. Aus ähnlichen Gründen mufs man den Insekten den Geschmackssinn zuerkennen. Nicht alle lieben dieselben Stoffe, sondern jegliche Art wählt eine besondere Nahrung; so läfst sich z. B. die Biene nie auf faulende Substanzen nieder, sondern sucht nur Süfsigkeiten auf.

Dafs alle blutführenden Gangtiere schlafen und wachen, läfst sich unmittelbar beobachten, da beim Schlafen alle mit Augenlidern versehenen dieselben schliefsen. Zudem träumen offenbar

---

[1]) Die blind endenden Höhlen über der Mundspalte der Fische, welche heute als Geruchsorgan betrachtet werden, hat Aristoteles also noch nicht richtig zu deuten gewufst.



nicht nur die Menschen, sondern auch Pferde und Hunde, was letztere durch Bellen zu erkennen geben. Dafs die Wassertiere schlafen, hat man ebenfalls beobachtet. An ihren Augen läfst sich zwar nichts bemerken, weil denselben die Lider fehlen, wohl aber an ihrer Unbeweglichkeit. Man kann sich nämlich oft den Fischen so unvermerkt nähern, dafs sie sich greifen lassen; sie verhalten sich dann ganz ruhig, nur die Schwanzflosse wird leise bewegt. Dafs sie aber schlafen, ersieht man aus dem Auffahren, wenn sich etwas rührt; sie schrecken dann wie aus dem Schlafe empor. Meist schlafen sie am Grunde, indem sie auf dem Boden oder an einem Steine ruhen, oder auch wohl sich unter Felsen verbergen; die breiten Fische schlafen im Sande, wo sie mit dem Dreizack gespiefst werden.

# 2. Archimedes entwickelt die Prinzipien der Mechanik.

## Die wichtigsten Sätze über das Gleichgewicht und das Schwimmen[1]).

*Archimedes wurde um das Jahr 287 v. Chr. zu Syrakus geboren und starb 212 bei der Einnahme seiner Vaterstadt, um deren Verteidigung gegen die Römer er sich sehr verdient gemacht hatte. Durch die Entdeckung des Hebelgesetzes und des hydrostatischen Prinzips wurde Archimedes zum Begründer der Mechanik, deren weiterer Ausbau erst durch Galilei erfolgte (Siehe 7). In seiner Sandesrechnung (Siehe 3) dehnt Archimedes die bisher nur begrenzte Zahlenreihe fast ins Unendliche aus; gleichzeitig gilt diese Schrift als ein wichtiger Beleg dafür, dafs Kopernikus (Siehe 5 A) in Aristarch einen Vorläufer besessen hat.*

1. Gleich schwere Gröfsen, in gleichen Entfernungen wirkend, sind im Gleichgewicht.
2. Gleich schwere Gröfsen, in ungleichen Entfernungen wirkend, sind nicht im Gleichgewicht, sondern die in der gröfseren Entfernung wirkende sinkt.

---

1) Zusammengestellt aus den Werken des Archimedes. Ausgabe von Ernst Nizze, Stralsund. 1824.

3. Wenn einem Gewicht, das mit einem anderen in gewissen Entfernungen im Gleichgewicht ist, etwas hinzugefügt wird, so bleiben sie nicht mehr im Gleichgewicht, sondern dasjenige sinkt, dem etwas zugelegt worden ist.
4. Ebenso, wenn von dem einen dieser Gewichte etwas fortgenommen wird, bleiben sie nicht mehr im Gleichgewicht, sondern dasjenige sinkt, von dem nichts weggenommen ist.
5. Ungleich schwere Gröfsen sind bei gleichen Entfernungen nicht im Gleichgewicht, sondern die schwerere wird sinken.
6. Wenn ungleich schwere Gröfsen in ungleichen Entfernungen im Gleichgewicht sind, so befindet sich die schwerere in der kleineren Entfernung.
7. Ungleiche Gewichte stehen im Gleichgewicht, sobald sie ihren Entfernungen umgekehrt proportional sind[1]).

8. Der Schwerpunkt eines jeden Parallelogramms ist derjenige Punkt, in welchem die Diagonalen sich treffen.
9. Der Schwerpunkt eines jeden Dreiecks liegt in einer geraden Linie, welche von einem Endpunkt nach der Mitte der Grundlinie gezogen wird.
10. Der Schwerpunkt eines Dreiecks liegt in dem Punkte, in welchem die aus den Eckpunkten nach den Mitten der Seiten gezogenen Linien sich schneiden[2]).

11. Die Oberfläche einer jeden zusammenhängenden Flüssigkeit im Zustande der Ruhe ist sphärisch und ihr Mittelpunkt fällt mit dem Mittelpunkte der Erde zusammen.
12. Feste Körper, welche bei gleichem Rauminhalt einerlei Gewicht mit einer Flüssigkeit haben, sinken in diese eingetaucht so weit, dafs nichts von ihnen über die Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt; tiefer aber sinken sie nicht.
13. Jeder feste Körper, welcher leichter als eine Flüssigkeit ist und in diese eingetaucht wird, sinkt so tief, dafs die

[1]) Dies ist das wichtige von Archimedes zuerst klar ausgesprochene Hebelgesetz.

[2]) Satz 1—10 finden sich im 1. Buche vom Gleichgewicht, Ausgabe von Nizze, Seite 1—11.



Masse der Flüssigkeit, welche dem eingesunkenen Teil an Volumen gleich ist, ebensoviel wiegt, wie der ganze Körper.

14. Wenn Körper, die leichter sind als eine Flüssigkeit, in dieser untergetaucht werden, so erheben sie sich wieder mit einer Kraft, welche gleich ist dem Gewichte des dem Körper gleichen Volumens Flüssigkeit, vermindert um das Gewicht des Körpers selbst.
15. Feste Körper, welche bei gleichem Rauminhalt schwerer als eine Flüssigkeit sind und in diese eingetaucht werden, sinken, so lange sie noch tiefer kommen können, und werden in der Flüssigkeit um so viel leichter, wie das Gewicht einer Masse Flüssigkeit von der Gröfse des eingetauchten Körpers beträgt[1]).

## 3. Des Archimedes Sandesrechnung[2]).

*Über Archimedes siehe 2 (Seite 8).*

Manche Leute, König Gelon, meinen, die Zahl der Sandkörner sei unendlich grofs. Ich spreche nicht von dem Sande, der sich um Syrakus oder in ganz Sicilien befindet, sondern ich habe dabei das gesamte feste Land im Auge, das bewohnte sowohl, wie das unbewohnte. Andere halten diese Zahl zwar nicht für unbegrenzt, glauben aber, dafs sie jede angebbare Zahl übertreffe. Wenn sich nun diese einen Sandhaufen dächten, von der Gröfse der Erde, dabei sämtliche Meere und alle Vertiefungen ausgefüllt bis zum Gipfel der höchsten Berge, so würden sie gewifs um so mehr annehmen, dafs keine Zahl zur Hand sei, die Menge dieses Haufens noch zu überbieten.

Ich will nun mittelst Beweise, denen Du beipflichten wirst, darthun, dafs unter den von mir benannten Zahlen einige nicht nur die Zahl eines Sandhaufens übertreffen, welcher an Gröfse der

[1]) Dies ist das sogenannte Archimedische Prinzip, welches für die Mechanik der Flüssigkeiten von derselben fundamentalen Bedeutung ist, wie das Hebelgesetz (Satz 7) für die Mechanik der festen Körper. Satz 11—15 finden sich im ersten Buch von den schwimmenden Körpern. Ausgabe von Nizze, Seite 225—228.

[2]) Unter Zugrundelegung von Nizzes Ausgabe der archimedischen Werke frei bearbeitet.



Erde gleich kommt, sondern selbst die Zahl eines Haufens, der so grofs ist wie die Welt.

Es ist Dir ja bekannt, dafs die meisten Sternkundigen unter dem Ausdruck Welt eine Kugel verstehen, deren Centrum der Mittelpunkt der Erde und deren Radius eine gerade Linie zwischen den Mittelpunkten von Erde und Sonne ist. In seiner Schrift wider die Sternkundigen sucht nun Aristarch von Samos[1]) dieses zu widerlegen und zu beweisen, dafs die Welt ein Vielfaches der oben bezeichneten sei. Er gelangt zu der Annahme, die Fixsterne samt der Sonne seien unbeweglich, die Erde aber werde in einer Kreislinie um die Sonne, welche inmitten ihrer Bahn stehe, herumgeführt. Der Durchmesser der Fixsternkugel nun möge sich zu demjenigen der Welt[2]) verhalten, wie der letztere zum Durchmesser der Erde. Ich behaupte nun, wenn es auch eine Sandkugel gäbe von der Gröfse der Aristarchischen Fixsternsphäre, so läfst sich doch eine Zahl angeben, deren Gröfse selbst die Menge der Körner in der gedachten Kugel übertrifft.

Folgendes wird vorausgesetzt:

1. Der Umfang der Erde ist geringer als 3 Millionen Stadien[3]).

Da man nämlich, wie Dir wohl bekannt ist, zu zeigen versucht hat, der Umfang der Erde betrage etwa 300,000 Stadien[4]), so will ich die Vorgänger überbieten und will annehmen, er sei zehnmal so grofs.

2. Die Sonne ist gröfser als die Erde, letztere gröfser als der Mond.

In dieser Annahme stimme ich mit den meisten Sternkundigen überein[5]).

---

1) Aristarch, um 270 v. Chr. in Samos geboren, hat die heliocentrische Theorie schon 1½ Jahrtausend vor Kopernikus, und zwar, wie aus dieser Stelle des Archimedes hervorgeht, sehr klar ausgesprochen. Erhalten ist von seinen Werken nur die Schrift: „Über die Gröfsen und Entfernungen der Sonne und des Mondes".

2) In dem oben angegebenen, für die meisten Sternkundigen geltenden Sinne.

3) Das griechische Längenmafs, 185 m betragend.

4) Eratosthenes, 275—194 v. Chr., welcher die erste Gradmessung anstellte, gab den Umfang der Erde zu 250.000 Stadien an; doch ist nicht bekannt, ob griechische oder ägyptische Stadien gemeint waren. Genaueres siehe Bd. II.

5) Nach der Berechnung des Aristarch ist die Sonne 7000 mal gröfser, der Mond 27 mal kleiner als die Erde.

3. **Der Sonnendurchmesser ist nicht gröfser als das Dreifsigfache des Monddurchmessers**[1].

4. **Der Sonnendurchmesser ist gröfser als die Seite eines Tausendecks, das in dem gröfsten Kreise der Weltkugel beschrieben wird.**

Dies nehme ich mit Aristarch an, nach welchem die Sonne wie der 720ste Teil des Tierkreises erscheint. Ich habe auch selbst den Winkel, unter welchem die Sonne gesehen wird, aufgenommen. Eine genaue Bestimmung desselben ist jedoch nicht leicht, weil weder das Auge, noch die Hände, noch die Mefsinstrumente zuverlässig genug sind. Doch hierüber wortreich zu sein, ist hier nicht am Platze. Es genügt mir, festgestellt zu haben, dafs der fragliche Winkel kleiner ist als der 164ste und gröfser als der 200ste Teil eines rechten Winkels[2].

Nach der 2. und 3. Voraussetzung ist der Durchmesser der Sonne kleiner als 30 Erddurchmesser. Somit ist auch (nach 4) der Umfang des einem gröfsten Kreise der Weltkugel eingeschriebenen Tausendecks kleiner als 30,000 Erddurchmesser. Dann mufs aber der Durchmesser dieses Tausendecks oder der Welt[3]) kleiner sein als 10,000 Erddurchmesser; denn nur beim regelmäfsigen Sechseck ist der Durchmesser gleich dem dritten Teil des Umfangs, bei einem regelmäfsigen Viereck mit mehr Seiten ist er aber kleiner.

Nach der ersten Voraussetzung ist der Umfang der Erde geringer als 3 Millionen Stadien, somit der Durchmesser kleiner als 1 Million Stadien, da der Durchmesser eines Kreises geringer ist, als der dritte Teil des Umfangs; folglich beträgt auch der Durchmesser der Welt weniger als 10,000 Millionen Stadien.

Wir wollen nun die Sandkörner so fein annehmen, dafs 10,000 erst die Gröfse eines Mohnkorns besitzen; und zwar will ich den Durchmesser eines Mohnkorns gleich $^1/_{40}$ Zoll setzen. Bei einem Versuch, den ich anstellte, nahmen zwar schon 25 Körner, in gerader Linie nebeneinander gelegt, einen Zoll

1) In Wahrheit beträgt der Sonnendurchmesser etwa das Vierhundertfache des Monddurchmessers.

2) $\frac{1}{164} R = 33'$; $\frac{1}{200} R = 27'$. Der mittlere scheinbare Durchmesser der Sonne beträgt nach Messungen mit dem Heliometer 32′, welchem Wert die von Archimedes gefundene obere Grenze nahe kommt.

3) Im engeren Sinne; siehe Seite 11.

ein, ich möchte indessen meine Beweisführung gegen jeden Widerspruch sichern.

Nun besitzen wir die Namen der Zahlen bis zu einer Myriade ($= 10{,}000 = 10^4$)[1]) durch Überlieferung und zählen auch die Myriaden bis zu 10,000 Myriaden ($10^4 . 10^4 = 10^8$). Um zu gröfseren Zahlen zu gelangen, betrachten wir 10,000 Myriaden als Einheit der zweiten Ordnung und setzen diese Einheit 10,000 Myriaden mal, so erhalten wir $10^8 . 10^8 = 10^{8 \cdot 2}$ als Einheit der dritten Ordnung. In derselben Weise würde sich 10,000 Myriaden mal $10^{8 \cdot 2} = 10^8 . 10^{8 \cdot 2} = 10^{8 \cdot 3}$ als Einheit der vierten Ordnung ergeben. $10^{8 \cdot 7}$ würde danach die Einheit der achten Ordnung, 1 die Einheit der ersten Ordnung sein.

Wir wollen nun zunächst berechnen, wieviel Sandkörner, von denen nach obiger Annahme eine Myriade den Raum eines Mohnkorns ausfüllen, sich in einer Kugel von einem Zoll Durchmesser unterbringen lassen. Wir setzen voraus, dass sich der Durchmesser des Mohnkorns zu demjenigen dieser Kugel wie $1 : 40$ verhält; nach einem bekannten geometrischen Satz verhalten sich zwei Kugeln wie die dritten Potenzen ihrer Durchmesser. $1^3 : 40^3 = 1 : 64{,}000$. In einer Kugel von einem Zoll Durchmesser haben demnach 64,000 Mohnkörner oder 64,000 Myriaden, das sind $6{,}4 . 10^4 . 10^4 = 6{,}4 . 10^8$, das sind weniger als $10 . 10^8$ Sandkörner Platz.

Eine Kugel von 100 Zoll Durchmesser verhält sich zu einer solchen von 1 Zoll Durchmesser wie $100^3 : 1^3 = 10^6 : 1$. Macht man also eine Sandkugel von 100 Zoll Durchmesser, so wird augenscheinlich die Zahl der Sandkörner, welche sie enthalten kann, nicht mehr als $10^6 . 10 . 10^8$ betragen.

Eine Kugel von $100 . 100 = 10{,}000$ Zoll Durchmesser würde demnach $10^6$ mal so viel Körner fassen wie eine Kugel von 100 Zoll Durchmesser; das sind $10^6 . 10^6 . 10 . 10^8 = 10 . 10^4 . 10^8 . 10^8 = 10 . 10^4 . 10^{8 \cdot 2}$ oder zehn Myriaden Einheiten dritter Ordnung.

Weil aber ein Stadium kleiner ist als 10,000 Zoll, so erhellt, dafs die Menge des Sandes in einer Kugel, deren Durchmesser ein Stadium beträgt, geringer ist als 10 Myriaden Einheiten der dritten Ordnung.

In derselben Weise ergiebt sich für eine Kugel von:

1) Wir wollen hier die Potenzschreibung anwenden, weil die archimedische Ausdrucksweise nicht so leicht verständlich ist.



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $10^2$ | Stadien | Durchmesser | $10^6 . 10 . 10^4 . 10^{8 \cdot 2}$ | $=$ | $1000 . 10^{8 \cdot 3}$ |
| $10^4$ | „ | „ | $10^6 . 1000 . 10^{8 \cdot 3}$ | $=$ | $10 . 10^{8 \cdot 4}$ |
| $10^6$ | „ | „ | $10^6 . 10 . 10^{8 \cdot 4}$ | $=$ | $10^6 . 10 . 10^{8 \cdot 4}$ |
| $10^8$ | „ | „ | $10^6 . 10^6 . 10 . 10^{8 \cdot 4}$ | $=$ | $10 . 10^4 . 10^{8 \cdot 5}$ |
| $10^{10}$ | „ | „ | $10^6 . 10 . 10^4 . 10^{8 \cdot 5}$ | $=$ | $1000 . 10^{8 \cdot 6}$ |

$10^{10}$ Stadien sind 10,000 Millionen Stadien. Der Durchmesser der Welt ist aber kleiner als 10,000 Millionen Stadien, so dafs auch die Welt weniger als $1000 . 10^{8 \cdot 6}$ Sandkörner enthalten mufs.

Da ferner der Durchmesser der Aristarchischen Fixsternkugel so oft den Weltdurchmesser (10,000 Millionen Stadien) an Gröfse übertreffen soll, als letzterer den Durchmesser der Erde (1 Million Stadien) übertrifft, so verhält sich die Fixsternkugel zur Welt wie $10{,}000^3 : 1^3 = 10^{12} : 1$. Mithin enthält die erstere weniger als $10^{12} . 1000 . 10^{8 \cdot 6} = 1000 . 10^4 . 10^{8 \cdot 7}$ = 1000 Myriaden Einheiten der achten Ordnung an Sandkörnern.

Dies nun, König Gelon, wird vermutlich dem grofsen Haufen und allen, welche der Mathematik nicht kundig sind, unglaublich erscheinen; denjenigen aber, welche mathematische Kenntnisse besitzen und über die Entfernung und Gröfse von Erde, Sonne und Mond, sowie des ganzen Weltgebäudes nachgedacht haben, wird es für bewiesen gelten. Deshalb habe ich geglaubt, es sei nicht unangemessen, diese Untersuchung anzustellen.

---

# 4. Die naturwissenschaftlichen Kenntnisse des Altertums werden von Plinius gesammelt.

## Abschnitte aus dem 12. 14. und 33. Buche der Naturgeschichte des Plinius [1]).

*Cajus Plinius Secundus wurde 23 n. Chr. in Como geboren, widmete sich dem Staats- und Kriegsdienst und wurde bei dem im Jahre 79 erfolgten Ausbruch des Vesuv ein Opfer seiner Wifsbegierde. In seiner Naturgeschichte, welche 37 Bücher umfafst, stellt Plinius sich die Aufgabe, das zerstreute Wissen seiner Zeit zu sammeln und zu sichten. Durch die mühevolle Lösung dieser Aufgabe hat er sich ein grofses Verdienst erworben, wenn ihm auch der*

1) Nach der Ausgabe von Sillig frei übersetzt von Friedrich Dannemann.

*Vorwurf nicht erspart werden kann, dafs er oft kritiklos zusammenträgt und den Stoff nicht immer beherrscht. Der Grundgedanke, welcher das Werk durchzieht, ist der, dafs die Natur des Menschen wegen alles erzeugt zu haben scheine. In den hier gebrachten Abschnitten, die vom Weinstock und vom Golde handeln, tritt dies besonders hervor, da diese Naturkörper kaum als solche, sondern vorzugsweise in ihrer Beziehung zum Menschenleben betrachtet werden.*

Wälder sind von Alters her als Tempel betrachtet worden, und noch jetzt weiht ländliche Einfalt jeden durch Schönheit hervorragenden Baum einer Gottheit. Noch heute ist die Eiche dem Jupiter, der Lorbeer Apoll und der Ölbaum Minerva heilig. Von den Bäumen empfangen wir das erfrischende Öl und den Wein; mit dem Holz, das sie liefern, durchfurchen wir das Meer und erbauen daraus unsere Häuser; ja aus Holz wurden früher sogar die Bildnisse der Götter hergestellt. Es wird erzählt, dafs die Gallier zuerst in Italien eingefallen seien, weil Helico, der in Rom die Bildhauerkunst erlernt hatte, ihnen getrocknete Feigen und Trauben mitgebracht habe; und es ist begreiflich, dafs sie, um in den Besitz dieser Dinge zu gelangen, selbst den Krieg nicht gescheut haben.

Der Weinstock zumal ist nirgends von so hervorragender Güte wie in Italien; mit Recht wurde er seiner Gröfse wegen immer zu den Bäumen gezählt. In Populonium erblickt man eine Bildsäule des Jupiter, aus einem einzigen Rebenstamme verfertigt, und in Metapontum wurde der Tempel der Juno von Säulen aus Rebenholz getragen. Durch jährliches Beschneiden hält man indes den Weinstock kurz, so dafs die gesamte Kraft in die Trauben geleitet wird. Im Lande der Campaner werden die Reben an Pappeln gezogen, durch deren Äste sie in vielfachen Windungen emporstreben, so hoch, dafs der Winzer beim Anmieten sich Scheiterhaufen und Grabhügel ausbedingt. Dafs man die Arten der Trauben zählen könne, hat nur Demokrit geglaubt, als er sich rühmte, sämtliche in Griechenland wachsenden zu kennen; alle anderen Gewährsmänner halten sie für zahllos, was in Anbetracht der vielen Weinsorten der Wahrheit näher kommen wird.

Dafs dem einen dieser, dem anderen jener Wein besser gefällt, dürfte wohl niemand bezweifeln. So zog der göttliche Augustus den Setiner allen übrigen Marken vor; derselbe wächst oberhalb des Forum Appii. In zweiter Linie kam der Falerner, welcher seinen Ruf insbesondere der sorgfältigen Pflege verdankte.

Letzterer ist heute nicht mehr so gesucht, weil man mehr auf Ergiebigkeit als auf Güte sieht. Er allein unter allen Weinen läſst sich anzünden.

Was die Griechen Nachwein nennen, kann eigentlich nicht als Wein bezeichnet werden, da derselbe aus mit Wasser zerriebenen Trestern gewonnen wird. Man unterscheidet mehrere Arten; entweder setzt man den Trestern soviel Wasser zu, wie dem zehnten Teil des erhaltenen Mostes entspricht, und keltert nach Ablauf eines Tages von neuem; oder man nimmt ein Drittel des Mostbetrages an Wasser und kocht den gewonnenen Saft dementsprechend ein. Kein so hergestellter Wein wird länger als ein Jahr getrunken. Auch aus den Früchten anderer Bäume bereitet man Wein. Da ist vor allem der Palmwein zu nennen, den der Parther, Inder, kurz das ganze Morgenland trinkt; man stellt ihn aus Datteln her, welche mit Wasser zerrieben und ausgepreſst werden. Ebenso wird der Feigenwein gemacht. Selbst aus Birnen und Äpfeln gewinnt man Wein, sowie aus Mispeln, den Früchten von Sorbus und verdünntem Honig.

Es erübrigt noch, von der Herstellung selbst zu sprechen, worin es die Griechen zu einer Kunst gebracht haben. In Afrika nimmt man dem Wein seine Schärfe durch Zusatz von Gips, an einigen Orten auch durch Kalk, in Griechenland sucht man ihm durch Marmor Milde zu verleihen. Des Aussehens halber fügt man auch noch Farbstoffe hinzu. Sehr verschieden wird auch der Wein nach seiner Bereitung im Keller behandelt.

Als gesündestes Getränke bietet uns die Natur das Wasser, dessen sich alle übrigen Geschöpfe bedienen. Wir dagegen erzeugen mit vieler Mühe und Arbeit einen Stoff, der dem Menschen die Besinnung nimmt und Tausende dem Laster opfert. Ja! damit man nur möglichst viel davon trinken kann, mildert man ihn und ersinnt Reizmittel; selbst Gift wird genommen, um die Trinkgier zu erhöhen; verzehren doch einige sogar Schierling, um durch die Furcht vor dem Tode zum Trinken gezwungen zu werden. So wird im Wein aus bloſser Gier geschlemmt und sogar durch Preise der Rausch herbeizuführen gesucht. Andere reden sich um den Hals; sie vermögen nicht, ihre Zunge im Zaune zu halten, wieviele auch schon ins Verderben geraten sind. Als Folgen der Trunksucht gelten Blässe, herabhängende Wangen und zitternde Hände, welche den gefüllten Pokal verschütten. Vor vierzig Jahren, als Tiberius Claudius regierte, war es Sitte geworden, nüchtern zu trinken, indem man den Wein den Speisen

vorangehen liefs. Wurde dies doch sogar von Ärzten, welche sich durch etwas Neues empfehlen wollten, gebilligt. Bei uns machte sich ein gewisser Novellius Torquatus, ein Mailänder, der alle Ämter von der Prätur bis zum Prokonsulat bekleidet hatte, dadurch einen Namen, dass er drei Congius[1]) austrank, weshalb er den Spitznamen Tricongius erhielt. Kaiser Tiberius, damals schon ernster, in der Jugend aber zum Trinken geneigt, befand sich unter den Zuschauern. Man glaubt, dafs Tiberius den Lucius Piso mit der Sorge für die Stadt betraute, weil letzterer zwei Tage und zwei Nächte bei einem kaiserlichen Gelage ausgehalten hatte.

Auch die westlichen Völker geniefsen berauschende Getränke, welche sie aus erweichtem Getreide herstellen. Dies geschieht sowohl in Gallien als auch in Spanien unter verschiedener Benennung, aber zum gleichen Zweck. Die Ägypter haben ähnliche Getränke aus Getreide erfunden, es fehlt daher keinem Teile der Welt an Berauschungsmitteln, indem man leider überall den erfinderischen Geist in den Dienst des Lasters gestellt hat. Zwei Flüssigkeiten thun dem menschlichen Körper besonders wohl, innerlich der Wein und äufserlich das Öl, beide entstammen dem Pflanzenreich, doch gewährt das Öl gröfseren Nutzen. Auch auf seine Darstellung hat man viel Fleifs und Mühe verwandt; um wie viel mehr man jedoch auf die Erfindung von Getränken bedacht gewesen ist, geht daraus hervor, dafs man deren 195 kennt, während es viel weniger Ölarten giebt.

Jetzt soll von den Metallen, den Reichtümern, und den Mitteln zur Wertbestimmung der Gegenstände die Rede sein. Während an dem einen Orte nach Schätzen gegraben wird, weil alles Gold, Silber und Erz verlangt, sucht man an anderen Stellen Eisen, das für Krieg und Mord brauchbarer ist als Gold. So dringen wir in alle Adern der Erde, unterwühlen den Boden, auf dem wir leben, und wundern uns noch, dafs derselbe Risse bekommt und erzittert, als ob sich dieses nicht aus dem Unwillen der heiligen Mutter erklären liefse. Besser wäre es, das Gold ganz abzuschaffen; wird es doch, wie die berühmtesten Schriftsteller erklären, von allen Besseren geschmäht und nur zum Verderben der Menschheit verwendet. Viel glücklicher war dieselbe, als es nur Tauschhandel gab, wie es noch zur Zeit Trojas nach Homers glaubwürdiger Angabe der Fall war.

---

[1]) Ein römisches Hohlmafs.

Lange war die Menge des Goldes in Rom nur gering. Als man nach der Einnahme der Stadt durch die Gallier den Frieden erkaufte, konnten nicht mehr als 1000 Pfund aufgebracht werden, während 307 Jahre später Marius nach Brandschatzung des Kapitols und der Tempel 14000 Pfund nach Praeneste schaffen liefs, welche Sulla bei seinem Triumphzug mit sich führte. Aufserdem hatte letzterer am Tage vorher 15000 Pfund Gold und 150000 Pfund Silber als Beute aus seinen übrigen Siegen in die Stadt bringen lassen. Wer den Frevel beging, den ersten Golddenarius herzustellen, ist nicht bekannt. Das römische Volk bediente sich vor der Besiegung des Pyrrhus nicht einmal gemünzten Silbers. König Servius liefs zuerst Kupfer prägen. Es wurde mit dem Bilde eines Stückes Vieh bezeichnet, wodurch das Wort Pecunia entstanden ist. Mit dem Gelde entstand die Habsucht und ein auf Wucher beruhendes gewinnbringendes Nichtsthun; sehr bald artete die Habsucht aus und wurde zur Geldgier. So ereignete es sich, dafs Septimulgus, der zum Hause des Cajus Gracchus gehörte, das abgeschnittene Haupt des letzteren dem Opimius brachte, um es sich mit Gold aufwiegen zu lassen. Zuvor hatte er jedoch Blei in den Mund gefüllt und so dem Verwandtenmord noch einen Betrug hinzugefügt.

Manches ist auch zu unsern Zeiten geschehen, was die Nachwelt für unglaublich halten wird. So hat Cäsar, der spätere Diktator, bei dem Leichenbegängnis seines Vaters den Kampfplatz ganz mit Silber ausschmücken lassen. Damals bekämpften auch zum ersten Male die Verbrecher die wilden Tiere mit silbernen Waffen, was jetzt sogar in den Municipien[1]) nachgeahmt wird. Kaiser Gajus liefs im Circus ein Gerüst aufstellen, an dem sich 24000 Pfund Silber befanden, und Nero bedeckte das Theater des Pompejus für die Dauer eines Tages mit Gold, als er es dem Tiridates, dem Könige von Armenien, zeigen wollte.

Die grofse Vorliebe, welche man für das Gold hegt, verdankt dasselbe wohl nicht so sehr dem Aussehen, da ja das Silber heller und glänzender ist. Das Gold wird vielmehr deshalb allen übrigen Metallen vorgezogen, weil es allein in der Hitze nichts einbüfst, weder bei Feuersbrünsten, noch auf dem Scheiterhaufen. Ein anderer Grund seines Wertes besteht darin, dafs es sich durch den Gebrauch nur wenig abnutzt, während man mit Silber, Kupfer

[1]) Städte aufserhalb Roms, die von eigenen Behörden regiert wurden und zugleich das römische Bürgerrecht besafsen.

und Blei Linien ziehen kann und die Hände durch abgelöste Teilchen dieser Metalle unsauber werden. Überdies wird das Gold allein gediegen gefunden, indes die übrigen nach der Förderung erst durch Feuer dargestellt werden müssen. Zudem beeinträchtigt weder Grünspan, noch Rost, noch ein anderes Umwandlungsprodukt seine vortrefflichen Eigenschaften und vermindert sein Gewicht. Selbst von salzigen und sauren Flüssigkeiten, die alles zerstören, wird es nicht angegriffen. Gold findet sich im Sande der Flüsse, z. B. des Po und Tajo, ferner wird es in Schächten gegraben oder zwischen Bergtrümmern gefunden.

Alles Gold enthält mehr oder weniger Silber, im Durchschnitt ein zehntel bis ein achtel; in dem Golde Galläciens[1]) allein wird nur der sechsunddreifsigste Teil gefunden, weshalb es besonders hoch geschätzt wird. Das Gold, in dem sich ein Fünftel Silber befindet, wird auch wohl Elektrum genannt; doch wird Elektrum auch absichtlich durch Zusatz von Silber hergestellt.

---

# 5. Die Aufstellung des heliocentrischen Weltsystems. 1530.

## Nikolaus Kopernikus, Über die Kreisbewegungen der Weltkörper[2]).

### A. Vorrede an den Papst Paul III.

*Mit der Reformation und Renaissance beginnt auch für die Naturwissenschaften eine neue Zeit. An der Schwelle derselben steht Nikolaus Kopernikus, der Begründer der heutigen Astronomie. Kopernikus wurde am 19. Februar (alten Stils) 1473 in Thorn geboren, studierte in Krakau Medizin, in Wien Astronomie und hielt sich dann mehrere Jahre in Italien auf, dem Boden, auf welchem damals Kunst und Wissenschaft ihre Wiedergeburt feierten. Später wurde er Domherr in Frauenburg (Ost-Preufsen), wo er mehr als 30 Jahre dem Ausbau seines Weltsystems widmete und im Mai des Jahres 1543 starb.*

1) Eine Landschaft Galliens.

2) Übersetzt und mit Anmerkungen von C. L. Menzzer. Herausgegeben von dem Kopernikus-Verein zu Thorn. Thorn 1879.

*Die Resultate seiner Beobachtungen und seines Nachdenkens hat Kopernikus in dem Werke „De revolutionibus“ niedergelegt. Hier seien nur die Vorrede und das 10. Kapitel des 1. Buches im Auszuge wiedergegeben. Die Ausbreitung der Kopernikanischen Lehre erfolgte besonders durch Galilei (Siehe 6, Seite 26).*

Heiligster Vater, ich kann mir zur Genüge denken, daſs gewisse Leute, sobald sie erfahren, daſs ich in diesen meinen Büchern der Erdkugel Bewegungen beilege, sogleich erklären möchten, ich sei mit solcher Meinung zu verwerfen. Mir gefällt nämlich das Meinige nicht so sehr, daſs ich nicht wohl erwägen sollte, was andere darüber urteilen werden. Als ich daher mit mir selbst überlegte, für was diejenigen, welche die Meinung von der Unbeweglichkeit der Erde durch das Urteil vieler Jahrhunderte bestätigt annehmen, es halten werden, wenn ich behaupte, die Erde bewege sich, so schwankte ich lange, ob ich meine Kommentare, die ich zum Beweise ihrer Bewegung geschrieben habe, herausgeben sollte, oder ob es besser wäre, dem Beispiele der Pythagoräer zu folgen, welche die Geheimnisse der Philosophie nur ihren Verwandten und Freunden mündlich zu überliefern pflegten. Als ich dies reiflich überlegte, bewog mich fast die Verachtung, welche ich wegen der Neuheit und scheinbaren Widersinnigkeit meiner Meinung zu fürchten hatte, das fertige Werk ganz bei Seite zu legen.

Aber meine Freunde brachten mich davon wieder ab und ermahnten mich, daſs ich mein Buch herausgeben sollte, welches bei mir nicht neun Jahre nur[1]), sondern bereits in das vierte Jahrneunt hinein verborgen gelegen hatte. Dasselbe verlangten von mir nicht wenige andere ausgezeichnete und sehr gelehrte Männer, indem sie mich ermahnten, daſs ich nicht länger wegen der gehegten Besorgnis mich weigern sollte, mein Werk dem allgemeinen Nutzen der Mathematiker zu weihen.

Aber Deine Heiligkeit wird vielleicht nicht so sehr darüber verwundert sein, daſs ich es gewagt habe, diese meine Nachtarbeiten zu Tage zu fördern, nachdem ich mir bei der Ausarbeitung derselben so viele Mühe gegeben habe, sondern erwartet vielmehr von mir zu hören, wie es mir in den Sinn gekommen ist, gegen die angenommene Meinung der Mathematiker, ja beinahe gegen den gemeinen Menschenverstand, mir eine Bewegung der Erde

[1]) Anspielung auf das Horazische nonumque prematur in annum.

vorzustellen. Deshalb will ich Deiner Heiligkeit nicht verhehlen, dafs mich zum Nachdenken über eine andere Art, die Bewegungen der Weltkörper zu berechnen, nichts anderes bewogen hat, als dafs die Mathematiker bei ihren Untersuchungen hierüber mit sich nicht einig sind. Denn erstens sind sie über die Bewegung der Sonne und des Mondes so ungewifs, dafs sie die Gröfse des vollen Jahres nicht abzuleiten vermögen. Zweitens wenden sie bei Feststellung der Bewegungen, sowohl jener als auch der fünf Wandelsterne, weder dieselben Grund- und Folgesätze, noch dieselben Beweise an. Die einen bedienen sich nämlich nur der konzentrischen, die andern der exzentrischen und epicyklischen[1]) Kreise, durch welche sie jedoch das Erstrebte nicht völlig erreichen. Auch konnten sie die Hauptsache, nämlich die Gestalt der Welt und die Symmetrie ihrer Teile weder finden noch berechnen. Es ging ihnen so, als wenn jemand von verschiedenen Orten her Hände, Füfse, Kopf und andere Glieder, zwar sehr schön, aber nicht im richtigen Verhältnisse gezeichnet, nähme und, ohne dafs sie sich irgend entsprächen, vielmehr ein Monstrum als einen Menschen daraus zusammensetzte.

Als ich nun über diese Unsicherheit der mathematischen Überlieferungen lange nachgedacht hatte, gab ich mir die Mühe, die Bücher aller Philosophen, deren ich habhaft werden konnte, von neuem zu lesen, um nachzusuchen, ob nicht irgend einer einmal der Ansicht gewesen wäre, dafs andere Bewegungen der Weltkörper existierten. Da fand ich denn zuerst bei Cicero, dafs Nicetus geglaubt habe, die Erde bewege sich. Nachher fand ich auch bei Plutarch, dafs einige andere ebenfalls dieser Meinung gewesen seien[2]). Hiervon also Veranlassung nehmend, fing auch ich an, über die Beweglichkeit der Erde nachzudenken, und obgleich die Ansicht widersinnig schien, so that ich's doch, weil ich wufste, dafs schon anderen vor mir die Freiheit vergönnt gewesen war, beliebige Kreisbewegungen zur Ableitung der Erscheinungen der Gestirne anzunehmen. Ich war der Meinung, dafs es auch mir wohl erlaubt wäre, zu versuchen, ob unter Voraussetzung irgend

---

1) In dem Bestreben, die ungleichförmig erscheinenden Bewegungen der Planeten auf gleichförmige Bewegungen zurückzuführen, nahm man an, diese Himmelskörper beschrieben Kreise, deren Mittelpunkt sich gleichzeitig der Peripherie eines zweiten Kreises entlang bewege; die ersteren Kreise nannte man Epicyklen.

2) Siehe auch in 4 auf S. 14.



einer Bewegung der Erde, zuverlässigere Ableitungen für die Kreisbewegung der Himmelsbahnen gefunden werden könnten als bisher. Und so habe ich denn unter Annahme der Bewegungen, welche ich im nachstehenden Werke der Erde zuschreibe, und durch viele und lange fortgesetzte Beobachtungen endlich gefunden, dafs wenn die Bewegungen der übrigen Wandelsterne auf den Kreislauf der Erde übertragen und dieser dem Kreislaufe jedes Gestirns zu Grunde gelegt wird, nicht nur die Erscheinungen der Wandelsterne daraus folgen, sondern auch die Gesetze und Gröfsen der Gestirne und alle ihre Bahnen und der Himmel selbst so zusammenhängen, dafs in keinem seiner Teile, ohne Verwirrung der übrigen Teile und des ganzen Universums, irgend etwas verändert werden könnte. Ich zweifle nicht, dafs geistreiche und gelehrte Mathematiker mir beipflichten werden, wenn sie gründlich erkennen und erwägen wollen, was zum Erweise dieser Gegenstände in vorliegendem Werke von mir herbeigebracht ist. Damit aber Gelehrte und Ungelehrte sehen, dass ich durchaus niemandes Urteil scheue, so wollte ich diese meine Nachtarbeiten lieber Deiner Heiligkeit als irgend einem andern widmen, weil Du auch in diesem sehr entlegenen Winkel der Erde, in welchem ich wirke, an Würde des Ranges und an Liebe zu allen Wissenschaften und zur Mathematik für den Erhabensten gehalten wirst, so dass Du durch Dein Ansehen und Urteil die Bisse der Verleumder leicht unterdrücken kannst, wenn auch das Sprichwort sagt, es gebe kein Mittel gegen den Bifs der Verleumdung.

## B. Über die Ordnung der Himmelskreise[1]).

Mir scheint durchaus beachtenswert, was Martianus Capella[2]) und einige andere Lateiner sehr wohl wufsten. Er glaubte nämlich, dafs Venus und Merkur die Sonne als ihren Mittelpunkt umkreisen und deswegen von ihr nicht weiter fortgehen können, als es die Kreise ihrer Bahnen erlauben, da sie nicht wie die andern die Erde umkreisen. Es würde dann die Bahn Merkurs von derjenigen der Venus, welche mehr als doppelt so gross ist, umschlossen sein und fände in der Ausdehnung derselben genügenden Raum.

1) Auszug aus dem 10. Kapitel des ersten Buches der „Kreisbewegungen".
2) Martianus Capella lebte im 6. Jahrhundert n. Chr.

Nimmt man hiervon Gelegenheit und bezieht Saturn, Jupiter und Mars auf denselben Mittelpunkt, während man die grofse Ausdehnung ihrer Bahnen ins Auge fafst, die aufser Merkur und Venus auch die Erdbahn umschliefsen, so wird man die Erklärung der regelmäfsigen Ordnung ihrer Bewegungen nicht verfehlen. Es steht nämlich fest, dass Saturn, Jupiter und Mars der Erde immer dann am nächsten sind, wenn sie des Abends aufgehen, d. h. wenn sie in Opposition mit der Sonne treten oder die Erde zwischen ihnen und der Sonne steht, dafs sie aber am weitesten von der Erde entfernt sind, wenn sie des Abends untergehen, wir also die Sonne zwischen ihnen und der Erde haben. Dies beweist hinreichend, dafs ihr Mittelpunkt der Sonne zugehört und derselbe ist, auf welchen auch Venus und Merkur ihre Bahnen beziehen. Da somit alle sich auf einen Mittelpunkt beziehen, so ist es notwendig, dafs der Raum, welcher zwischen dem Kreise der Venus und des Mars übrig bleibt, die Erde mit dem sie begleitenden Monde und allem, was unter dem Monde sich befindet, aufnimmt. Denn wir können den Mond, der unstreitig der Erde am nächsten steht, in keiner Weise von ihr trennen, zumal da wir in jenem Raum für ihn ausreichenden Platz finden. Wir scheuen uns daher nicht, zu behaupten, dafs das Ganze, welches der Mond einschliefst, mit dem Mittelpunkte der Erde zwischen den Planeten jenen grofsen Kreis in jährlicher Bewegung um die Sonne durchläuft und sich um den Weltmittelpunkt bewegt, in welchem die Sonne unbeweglich ruht, und dafs alles dasjenige, was als Bewegung der Sonne erscheint, in der Bewegung der Erde seine Erklärung findet. Der Umfang der Welt aber ist so grofs, dafs jene Entfernung der Erde von der Sonne, während sie im Verhältnis zur Gröfse der anderen Planetenbahnen eine merkliche Ausdehnung hat, gegen die Fixsternsphäre gehalten verschwindet. Ich halte dies alles für leichter begreiflich, als wenn der Geist durch eine fast endlose Menge von Kreisen zersplittert wird, was diejenigen zu thun gezwungen sind, welche die Erde in der Mitte der Welt festhalten. Wenn alles dieses fast unbegreiflich und gegen die Meinung vieler sein sollte, so werde ich es, so Gott will, klarer als die Sonne machen, wenigstens denjenigen, die in der Mathematik nicht unwissend sind.

Die Reihe der Sphären ordnet sich aber in folgender Weise: [siehe Anmerkung [1]) auf der gegenüberstehenden Seite.]

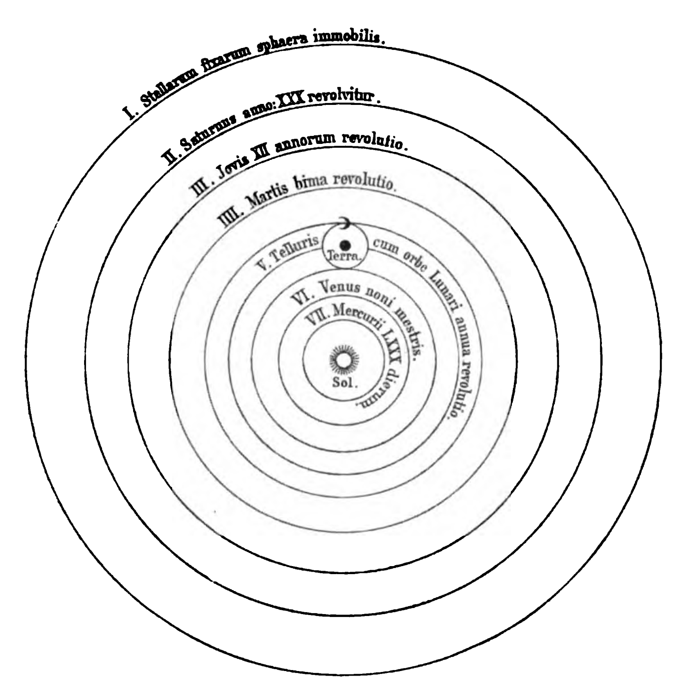



Fig. 1 (aus Copernicus, de revolutionibus).

Die erste und höchste von allen Sphären ist diejenige der Fixsterne, sich selbst und alles enthaltend und daher unbeweglich, als der Ort des Universums, auf welchen die Bewegung und Stellung aller übrigen Gestirne bezogen wird.

Es folgt der äufserste Planet, Saturn [1]), welcher in 30 Jahren seinen Umlauf vollendet; hierauf Jupiter mit einem zwölfjährigen Umlauf; dann Mars, welcher in zwei Jahren seine Bahn durchläuft. Die vierte Stelle in der Reihe nimmt der jährliche Kreislauf ein, in welchem die Erde mit der Mondbahn als Epicyklus enthalten ist. An fünfter Stelle kreist Venus in neun Monaten. Den sechsten Platz nimmt Merkur ein, der in einem Zeitraum von achtzig Tagen seinen Umlauf vollendet. In der Mitte aber von allem steht die Sonne. Denn wer möchte in diesem schönsten Tempel diese Leuchte an einen anderen oder besseren Ort setzen.

[1]) Die aufserhalb des Saturn befindlichen Planeten Uranus und Neptun wurden erst 1781, beziehungsweise 1846 entdeckt.

So lenkt in der That die Sonne, auf dem königlichen Throne sitzend, die sie umkreisende Familie der Gestirne. Wir finden also in dieser Anordnung einen harmonischen Zusammenhang, wie

---

1) Zum Vergleich sei hier die Anordnung des Universums nach dem Ptolemäischen System der Abbildung des Kopernikus gegenübergestellt:

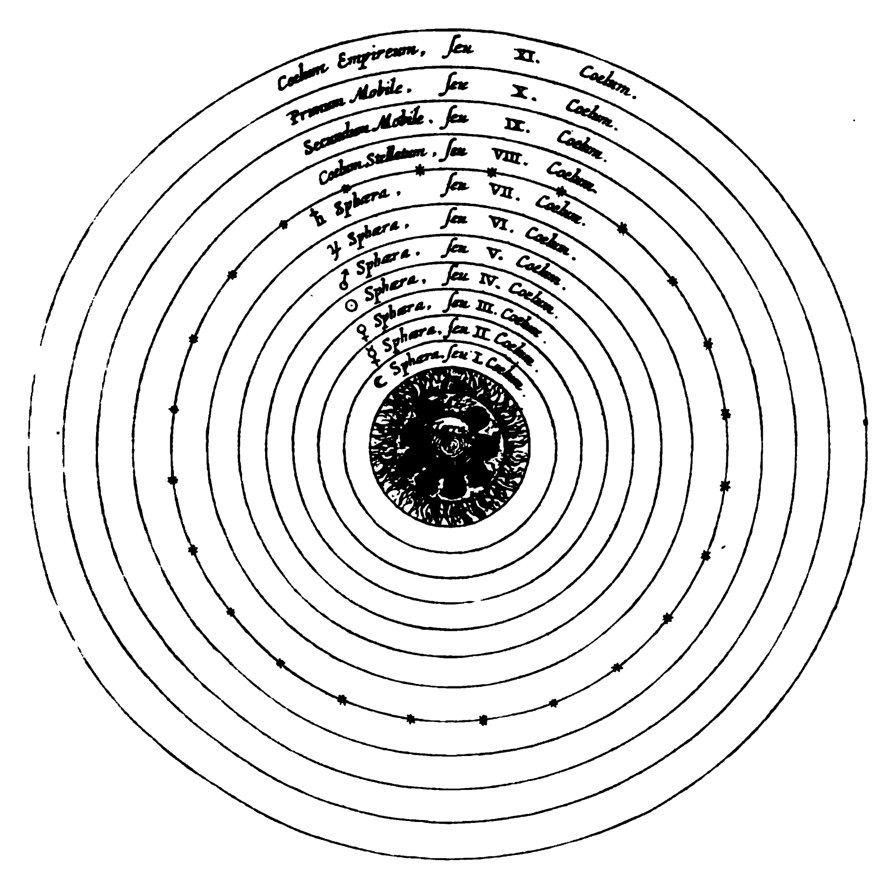



Fig. 2.

Fig. 2 ist dem astronomischen Teil von Guerickes „de vacuo spatio" (Siehe 13, Seite 59) entnommen.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ☾ = Mond, | Umlaufszeit | 1/12 | Jahr | |
| ☿ = Merkur, | „ | 1/4 | „ | (LXXX Tage) |
| ♀ = Venus, | „ | 2/3 | „ | |
| ☉ = Sonne, | „ | 1 | „ | |
| ♂ = Mars, | „ | 2 | Jahre | (bima revolutio) |
| ♃ = Jupiter, | „ | 12 | „ | (XII annorum revolutio) |
| ♄ = Saturn, | „ | 30 | „ | (anno XXX revolvitur). |

er anderweitig nicht gefunden werden kann. Denn hier kann der eingehende Beobachter bemerken, warum das Vor- und Zurückgehen beim Jupiter gröfser erscheint als beim Saturn und kleiner als beim Mars, und wiederum bei der Venus gröfser als beim Merkur. Aufserdem warum Saturn, Jupiter und Mars, wenn sie des Abends aufgehen, der Erde näher sind als bei ihrem Verschwinden in den Strahlen der Sonne. Vorzüglich aber scheint Mars, wenn er des Nachts am Himmel steht, an Gröfse dem Jupiter gleich zu sein, während er bald darauf unter den Sternen zweiter Gröfse gefunden wird. Und dies alles ergiebt sich aus derselben Ursache, nämlich aus der Bewegung der Erde. Dafs aber an den Fixsternen nichts von derselben zur Erscheinung kommt, ist ein Beweis für ihre unermessliche Entfernung, welche selbst die Bahn der jährlichen Bewegung oder deren Abbild für unsere Augen verschwinden läfst[1]).

# 6. Die Ausbreitung der Kopernikanischen Lehre durch Galilei.

## Galileo Galilei, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme. 1632.

### Gekürzte Wiedergabe des Abschnitts, welcher von der täglichen Bewegung der Erde handelt[2]).

*Trat uns in Kopernikus der Begründer der neueren Astronomie entgegen, so erblicken wir in Galilei den Schöpfer des dynamischen Teils der Mechanik und den hervorragendsten Urheber der experimentellen (induktiven) Forschungsweise. Galileo Galilei wurde am 18. Februar 1564 in Pisa geboren, woselbst er 1581 seine Studien begann und 1589*

1) Die hierin liegende Schwierigkeit wurde erst von Bessel gehoben, welcher nachwies, dass die Fixsterne in der That infolge der jährlichen Bewegung der Erde ihren Ort, wenn auch in sehr geringem Mafse, verändern (Siehe 55).

2) Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische, von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von Emil Strauss. Leipzig, B. G. Teubner 1891. Der Titel des Originals lautet: Dialogo di Galileo Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo, Ptolemaico e Copernicano. MDCXXXII.

*eine Professur erhielt. Um das Jahr 1590 fallen seine Untersuchungen über den freien Fall, durch welche der bis dahin herrschenden aristotelischen Physik der Boden entzogen ward (Siehe 7). Im Beginn des 17. Jahrhunderts wurde in Holland das Fernrohr erfunden, wodurch Galileis zahlreiche astronomische Entdeckungen ermöglicht wurden (Siehe 8). Durch die im Jahre 1632 erfolgte Herausgabe des Dialogs über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme zog sich Galilei die Verfolgung seitens der Inquisition zu. Er wurde am 22. Juni 1633 gezwungen der Kopernikanischen Lehre abzuschwören und blieb, wenn auch im eigenen Hause wohnend, bis zu seinem am 8. Januar 1642 erfolgten Tode gefangen und überwacht.*

Salviati[1]). Beginnen wir also unsere Betrachtung mit der Erwägung, dafs, welche Bewegung auch der Erde zugeschrieben werden mag, dennoch wir, als deren Bewohner und somit als Teilnehmer an ihrer Bewegung, von dieser unmöglich etwas merken können, vorausgesetzt, dafs wir nur irdische Dinge in Betracht ziehen. Demgegenüber ist es freilich ebenso notwendig, dafs scheinbar diese nämliche Bewegung ganz allgemein allen anderen Körpern und sichtbaren Gegenständen zukommt, die, von der Erde getrennt, deren Bewegung nicht mitmachen. Die richtige Methode, um zu erforschen, ob man der Erde eine Bewegung zuschreiben kann und welche, besteht also darin, dafs man untersucht und beobachtet, ob sich an den Körpern aufserhalb der Erde eine scheinbare Bewegung wahrnehmen läfst, die gleichermafsen ihnen allen zukommt. Denn eine Bewegung, die beispielshalber nur am Monde wahrnehmbar ist, hingegen mit Venus oder Jupiter oder anderen Sternen nichts zu thun hat, kann unmöglich der Erde eigentümlich sein, noch sonst wo ihren Sitz haben als im Monde. Nun giebt es eine solche ganz allgemeine, alle anderen beherrschende Bewegung, nämlich die, welche Sonne, Mond, die anderen Planeten, die Fixsterne, kurz das gesamte Weltall mit alleiniger Ausnahme der Erde insgesamt von Ost nach West innerhalb eines Zeitraums von vierundzwanzig Stunden auszuführen scheinen. Diese nun,

[1]) Galilei liebte es, seine Ideen in Gesprächsform einzukleiden. Ästhetische und didaktische Gründe, sowie das Vorbild der platonischen Dialoge mögen ihn dazu veranlafst haben. Andererseits sprachen auch Opportunitätsrücksichten für diese Art der Veröffentlichung. Salviati und Sagredo waren Freunde und Anhänger Galileis, denen er im Dialog ein Denkmal setzt, indem er sie zu Trägern seiner Ansicht macht. Simplicio, eine fingierte Persönlichkeit, ist der Verfechter der zu Galileis Zeiten überwuchernden, dem blinden Autoritätsglauben huldigenden Büchergelehrsamkeit.



soweit es wenigstens beim ersten Blick den Anschein hat, könnte ebenso gut eine Bewegung der Erde allein sein, wie der ganzen übrigen Welt mit Ausnahme der Erde. Denn bei der einen Annahme wie bei der anderen würden sich dieselben Erscheinungen ergeben. Ich will vom Allgemeinsten ausgehend die Gründe vortragen, welche zu Gunsten der Bewegung der Erde zu sprechen scheinen. Wenn wir blofs den ungeheuren Umfang der Sternensphäre betrachten im Vergleich zu der Kleinheit des Erdballs, welcher in jener viele Millionen mal enthalten ist, und sodann an die Geschwindigkeit der Bewegung denken, infolge deren in einem Tage und einer Nacht eine ganze Umdrehung vollzogen wird, so kann ich mir nicht einreden, wie es jemand für vernünftiger und glaublicher halten kann, dafs die Himmelssphäre es sei, die sich dreht, der Erdball hingegen fest bleibt.

Simplicio. Ich begreife nicht recht, dafs jene mächtige Bewegung für die Sonne, den Mond, die anderen Planeten und die unzählbare Schar der Fixsterne so gut wie nicht vorhanden sein soll. Nennt Ihr denn das nichts, wenn die Sonne aus einem Meridian in einen anderen tritt, über diesen Horizont emporsteigt, unter jenen hinabsinkt, bald Tag bringt, bald Nacht, wenn der Mond ähnliche Änderungen durchmacht und desgleichen die anderen Planeten und Fixsterne?

Salviati. Alle von Euch aufgezählten Veränderungen sind solche in Bezug auf die Erde. Um Euch davon zu überzeugen, denkt Euch nur die Erde weg. Es giebt dann keinen Auf- und Untergang der Sonne oder des Mondes, keine Horizonte, keine Meridiane, keinen Tag, keine Nacht; kurz, durch besagte Bewegung wird keinerlei Veränderung in dem Verhältnis des Mondes zur Sonne oder zu irgend welchen anderen Gestirnen hervorgerufen, seien es Planeten oder Fixsterne. Alle Veränderungen haben vielmehr Bezug auf die Erde, sie kommen im Grunde nur darauf hinaus, dafs die Sonne erst für China, dann für Persien, nachher für Ägypten, Griechenland, Frankreich, Spanien, Amerika u. s. w. sichtbar wird und dafs ein gleiches mit dem Monde und den übrigen Himmelskörpern geschieht. Es spielt sich genau derselbe Vorgang in ganz derselben Weise ab, wenn man, ohne einen so grofsen Teil des Weltalls zu behelligen, den Erdball sich um sich selber drehen läfst. — Die Schwierigkeit verdoppelt sich aber, insofern eine zweite sehr bedeutende hinzutritt. Wenn man nämlich jene gewaltige Bewegung dem Himmel beilegt, mufs man notwendigerweise diese als entgegengesetzt den besonderen Be-

wegungen der sämtlichen Planeten ansehen, die alle unstreitig ihre eigene Bewegung von West nach Ost haben, und zwar eine sehr gemächliche und gemässigte. Läſst man hingegen die Erde sich um sich selber bewegen, so fällt der Gegensatz der Bewegungen hinweg.

Die Unwahrscheinlichkeit verdreifacht sich durch völligen Umsturz derjenigen Ordnung, welche alle Himmelskörper beherrscht, bei denen die Kreisbewegung vollkommen sicher gestellt ist. Je gröſser nämlich in einem solchen Falle die Sphäre ist, um so längere Zeit nimmt der Umlauf in Anspruch, je kleiner, um so kürzere. Saturn, dessen Bahn an Gröſse die aller Planeten übertrifft, vollendet sie in dreiſsig Jahren. Jupiter dreht sich in seinem kleineren Kreise in zwölf Jahren um, Mars in zweien, der Mond in seinem viel kleineren innerhalb eines Monats. Ebenso deutlich sehen wir bei den Mediceischen Gestirnen[1]) das dem Jupiter zunächst benachbarte seinen Umlauf in ganz kurzer Zeit, nämlich in etwa 42 Stunden, abmachen, das folgende in etwa 3½ Tagen, das dritte in 7 und das entfernteste in 16 Tagen. Diese durchgehends befolgte Regel wird nun bestehen bleiben, wenn man die 24stündige Bewegung einer Drehung der Erde zuschreibt. Will man aber die Erde unbewegt lassen, so muſs man zuerst von der ganz kurzen Regel des Mondes zu immer gröſseren übergehen, zu der zweijährigen des Mars, von da zu der zwölfjährigen des Jupiter, von hier zu der dreiſsigjährigen Saturns, nun aber plötzlich zu einer unvergleichlich viel gröſseren Sphäre, der man gleichwohl eine volle Umdrehung in 24 Stunden beilegen muſs. Nimmt man aber eine Bewegung der Erde an, so wird die Geschwindigkeit der Perioden aufs beste gewahrt; von der trägsten Sphäre des Saturn gelangt man zu den ganz unbeweglichen Fixsternen. Man entgeht damit auch einer vierten Schwierigkeit, die notwendigerweise zugegeben werden muſs, sobald man die Sternensphäre beweglich annimmt. Ich meine die gewaltige Ungleichheit bei den Bewegungen eben dieser Sterne, von welchen einige sich auſserordentlich schnell in ungeheueren Kreisen drehen müſsten, andere sehr langsam in kleinen Kreisen, da sich die einen in gröſseren, die anderen in geringerer Entfernung vom Pole be-

[1]) Gemeint sind die Jupitermonde, welche Galilei 1610 entdeckt und zu Ehren des toskanischen Herrscherhauses Sidera Medicea genannt hat. Diese Monde mit ihrem Centralkörper erschienen Galilei wie ein Planetensystem im Kleinen und bestärkten ihn in dem Glauben an die Richtigkeit der Kopernikanischen Ansicht (Siehe 8).

finden. Das ist ebenfalls ein Übelstand; denn einerseits sehen wir alle diejenigen Sterne, deren Bewegung unzweifelhaft feststeht, sich sämtlich in gröfsten Kreisen drehen, andererseits scheint es wenig Zweck zu haben, Körper, welche sich kreisförmig drehen sollen, in eine ungeheure Entfernung vom Mittelpunkt zu setzen und sie dann in ganz kleinen Kreisen sich bewegen zu lassen. Und nicht nur die Gröfse der verschiedenen Kreise und somit auch die Geschwindigkeiten der Bewegungen sind bei diesen und jenen Fixsternen ganz verschieden, sondern dieselben Sterne ändern auch ihre Bahnen und ihre Geschwindigkeiten: darin besteht der fünfte Übelstand. Diejenigen nämlich, welche vor zweitausend Jahren im Äquator standen und folglich bei ihrer Bewegung gröfste Kreise beschrieben, müssen, weil sie heutzutage viele Grade von ihm entfernt sind, sich langsamer und in kleineren Kreisen bewegen. Nach nicht gar so langer Zeit wird es sogar geschehen, dafs einer von denen, die sich bisher stets bewegt haben, schliefslich mit dem Pole zusammenfällt und dann feststeht, nach einiger Zeit der Ruhe aber wiederum anfängt sich zu bewegen. Die anderen Gestirne indessen, die sich unzweifelhaft bewegen, haben alle, wie gesagt, als Bahn einen gröfsten Kreis und behalten diese unveränderlich bei.

Die Unwahrscheinlichkeit wird noch vermehrt — es mag dies als sechster Übelstand gelten — dadurch, dafs man sich nicht vorstellen kann, welche Festigkeit jene ungeheure Sphäre[1]) haben mufs, in deren Tiefen so viele Sterne dermafsen dauerhaft befestigt sind, dafs sie, ohne irgendwie ihre gegenseitige Lage zu ändern, trotz solcher Verschiedenheit der Bewegungen gleichmäfsig im Umschwung erhalten werden. Oder wenn der Himmel nach der sehr viel wahrscheinlicheren Annahme flüssig ist, mithin jeder Stern für sich eine Bahn beschreibt: nach welchem Gesetze und aus welchem Grunde sollen dann ihre Bahnen derart geregelt sein, dafs sie von der Erde aus gesehen wie in einer einzigen Sphäre enthalten erscheinen? Um dies zu erreichen, scheint es mir viel leichter und bequemer, sie unbeweglich statt wandelnd zu machen, wie etwa die Pflastersteine auf dem Markte leichter in Ordnung bleiben als die Kinderscharen, die sich darauf umhertreiben.

Schliefslich das siebente Bedenken: Schreiben wir die tägliche Umdrehung der höheren Himmelsregion zu, so hätte man

[1]) Nach Ansicht der Aristoteliker bewegten sich um die ruhende Erdkugel konzentrische Kugelschalen, in welchen Mond, Sonne, Planeten und Fixsterne sich befanden. Auch stritt man sich, ob diese ursprünglich wohl nur gedachten Sphären aus festem oder flüssigem Stoff beständen.

dieser eine solche Gewalt und Kraft zu verleihen, dafs sie die unzählbare Menge der Fixsterne mit sich fortreifst, alles Körper von gewaltigstem Umfang und weit gröfser als die Erde, ferner alle Planeten, obgleich diese wie die Erde von Natur sich in entgegengesetzer Richtung bewegen. Somit würde sich einzig und allein der kleine Erdball hartnäckig und eigensinnig solcher Kraft widersetzen, eine Annahme, die, wie mir scheint, viel gegen sich hat. Ich wüfste auch nicht zu erklären, weshalb die Erde, ein freischwebender, um ihren Mittelpunkt balancierender Körper, der rings umgeben ist von einem flüssigen Mittel, nicht auch von der allgemeinen Umdrehung ergriffen werden sollte. Auf derartige Übelstände stofsen wir aber nicht, wenn wir die Erde sich bewegen lassen, einen so kleinen, unbeträchtlichen Körper im Vergleich zum gesamten Weltall, welcher eben darum diesem keinerlei Gewalt anzuthun vermag.

Simplicio. Durchgehends stützt Ihr Euch, wie mir scheint, auf die gröfsere Einfachheit und Leichtigkeit, mit welcher die nämlichen Wirkungen sich vollziehen. Ihr meint, als Ursache sei die Bewegung der Erde allein ebenso ausreichend wie die Bewegung des gesamten übrigen Weltalls mit Ausnahme der Erde; den thatsächlichen Vorgang haltet Ihr in jenem Falle für weit leichter, als in diesem. Für die Macht des Weltenlenkers aber, welche unendlich ist, ist es nicht minder leicht, das Weltall zu bewegen, als die Erde oder einen Strohhalm. Wenn aber seine Macht unendlich ist, warum soll sich nicht lieber ein grofser als ein ganz kleiner Teil derselben offenbaren?

Salviati. Wenn ich gesagt hätte, das Weltall bewege sich nicht wegen der Ohnmacht seines Lenkers, so würde ich geirrt haben und Eure Rüge wäre angebracht. Ich gebe zu, dafs einer unendlichen Macht es ebenso leicht ist, hunderttausend zu bewegen wie eins. Was ich sagte, bezieht sich aber nicht auf den, der bewegt, sondern auf das, was sich bewegt. Darauf, dafs es einer unendlichen Macht besser anstehe, einen grofsen Teil ihrer selbst zu offenbaren als einen kleinen, entgegne ich, dafs im Verhältnis zum Unendlichen ein Teil nicht gröfser ist als ein anderer, wenn beide endlich sind. Es ist daher unstatthaft zu sagen, dafs hunderttausend ein gröfserer Teil einer unendlichen Zahl sei als zwei, wenngleich jenes fünfzigtausendmal gröfser ist als dieses. Wenn wir also die bewegten Körper in Betracht ziehen und unzweifelhaft die Bewegung der Erde als einen einfacheren Vorgang zu betrachten haben als die des Weltalls, wenn wir ferner unser

Augenmerk auf so viele andere Vereinfachungen richten, die nur durch diese Annahme sich erreichen lassen, so mufs uns, nach dem sehr richtigen Axiome des Aristoteles: frustra fit per plura, quod potest fieri per pauciora[1]), die tägliche Bewegung der Erde viel wahrscheinlicher vorkommen als die des Weltalls mit Ausnahme der Erde.

---

# 7. Galilei als Begründer der Dynamik. 1600.

## Vom Fall der Körper[2]).

*Die Schrift Galileis, welcher der nachfolgende Abschnitt entnommen ist, bezeichnet den bedeutendsten Fortschritt der Mechanik seit Archimedes. Hatte sich der letztere (Siehe 2) darauf beschränkt, die Prinzipien der Statik zu entwickeln, so gab Galilei hier die Lösung der wichtigsten Probleme der Dynamik, indem er den freien Fall, den Wurf und die Pendelbewegung untersuchte. Die „Unterredungen" sind wie der „Dialog" in Gesprächsform abgefafst. Simplicio verficht die Ansichten des Aristoteles, Sagredo und insbesondere Salviati entwickeln dagegen die neuen Lehren Galileis.*

Simplicio. Aristoteles behauptet, dass verschiedene Körper in ein und demselben Medium mit verschiedener Geschwindigkeit sich bewegen, und zwar stets proportional den Gewichten, sodafs z. B. ein 10mal gröfseres Gewicht sich 10mal schneller bewege. Ferner nimmt er an, dafs die Geschwindigkeiten ein und derselben Masse in verschiedenen Medien sich umgekehrt wie die Dichtigkeiten verhalten, sodafs, wenn z. B. die Dichtigkeit des Wassers 10mal so grofs ist als die der Luft, die Geschwindigkeit in der Luft 10mal gröfser sei als die im Wasser.

Salviati. Ich zweifle sehr daran, dafs Aristoteles je experimentell nachgesehen habe, ob zwei Steine, von denen der eine ein 10mal so grofses Gewicht hat wie der andere, wenn man sie

---

1) Es ist zwecklos viele Mittel aufzuwenden, wo wenige ausreichen.

2) Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und herausgegeben von A. v. Oettingen. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann 1890 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 11). Der Originaltitel lautet: Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. Leyden 1638.



in ein und demselben Augenblick fallen liefse, z. B. 100 Ellen hoch herab, so verschieden in ihrer Bewegung sein sollten, dafs bei der Ankunft des gröfseren der kleinere erst 10 Ellen zurückgelegt hätte.

Simplicio. Man sieht's aus Eurer Darstellung, dafs Ihr darüber experimentiert habt, sonst würdet Ihr nicht vom Nachsehen reden[1]).

Sagredo. Aber ich, Herr Simplicio, der ich keinen Versuch angestellt habe, versichere Euch, dafs eine Kanonenkugel von 100, 200 und mehr Pfund um keine Spanne vor einer Flintenkugel von einem halben Pfund Gewicht die Erde erreichen wird, wenn beide aus 200 Ellen Höhe herabkommen.

Salviati. Ohne viele Versuche können wir durch eine kurze, bindende Schlufsfolgerung nachweisen, wie unmöglich es sei, dafs ein gröfseres Gewicht sich schneller bewege als ein kleineres, wenn beide aus gleichem Stoff bestehen. Denn sagt mir, Herr Simplicio, gebt Ihr zu, dafs jeder fallende Körper eine von Natur ihm zukommende Geschwindigkeit habe, sodafs, wenn dieselbe vermehrt oder vermindert werden soll, eine Kraft angewendet werden mufs oder ein Hemmnis.

Simplicio. Unzweifelhaft hat ein Körper in einem gewissen Mittel eine bestimmte Geschwindigkeit, die nur mit einem neuen Antrieb vermehrt oder durch ein Hindernis vermindert werden kann.

Salviati. Wenn wir zwei Körper haben, deren Geschwindigkeit verschieden sei, so ist es klar, dafs wenn wir den langsameren mit dem geschwinderen vereinigen, dieser letztere durch jenen verzögert werden müfste, und jener, der langsamere, müfste vom schnelleren beschleunigt werden. Seid Ihr hierin mit mir einverstanden?

Simplicio. Mir scheint diese Konsequenz völlig richtig.

Salviati. Aber wenn dies richtig ist, und wenn es wahr wäre, dafs ein grofser Stein sich z. B. mit 8 Ellen Geschwindigkeit bewegt und ein kleinerer mit 4 Ellen, so würden beide vereinigt eine Geschwindigkeit von weniger als 8 Ellen haben müssen. Nun sind die beiden Steine zusammen doch gröfser als jener gröfsere Stein, der 8 Ellen Geschwindigkeit hatte; mithin würde sich nun der gröfsere[2]) langsamer bewegen als der kleinere, was

[1]) Galilei hatte vom schiefen Turm zu Pisa, der sich für seine Fallversuche vortrefflich eignete, eine halbpfündige Kugel und eine hundertpfündige Bombe herabfallen lassen, wobei letztere nur um wenige Zoll voraneilte.

[2]) Nämlich durch die Vereinigung der beiden Steine gebildete.

gegen Eure Voraussetzung wäre. Ihr seht also, wie aus der Annahme, ein gröfserer Körper habe eine gröfsere Geschwindigkeit als ein kleinerer, ich Euch weiter folgern lassen konnte, dafs ein gröfserer Körper sich langsamer bewege als ein kleinerer.

Simplicio. Ich bin ganz verwirrt, denn mir will es nun scheinen, als ob der kleinere Stein, dem gröfseren zugefügt, dessen Gewicht und daher durchaus auch dessen Geschwindigkeit vermehre, oder jedenfalls, als ob letztere nicht vermindert werden müsse.

Salviati. Hier begeht Ihr einen neuen Fehler, Herr Simplicio, denn es ist nicht richtig, dafs der kleine Stein das Gewicht des grofsen vermehre.

Simplicio. So? das überschreitet meinen Horizont.

Salviati. Keineswegs, sobald ich Euch von dem Irrtume, in dem Ihr Euch bewegt, befreit haben werde. Merket wohl, dafs man hier unterscheiden mufs, ob ein Körper sich bereits bewegt oder ob er in Ruhe ist. Wenn wir einen Stein auf eine Wagschale thun, so wird das Gewicht durch Hinzufügung eines zweiten Steines vermehrt, ja selbst die Zulage eines Stückes Werg wird das Gewicht anwachsen lassen. Wenn Ihr aber den Stein mitsamt dem Werg von einer grofsen Höhe frei herabfallen lafst, glaubt Ihr, dafs während der Bewegung das Werg den Stein drücken und dessen Bewegung beschleunigen wird, oder glaubt Ihr, dafs der Stein aufgehalten wird, indem das Wergstück ihn trägt? Fühlen wir nicht die Last auf unseren Schultern, wenn wir uns gegen die Bewegung derselben stemmen wollen? Wenn wir aber mit derselben Geschwindigkeit uns bewegen, wie die Last auf unserem Rücken, wie soll dann die letztere uns drücken und beschweren? Seht Ihr nicht, dafs das ähnlich wäre, wie wenn wir den mit der Lanze treffen wollten, der mit derselben Geschwindigkeit vor uns herflieht? Zieht also den Schlufs, dafs beim freien Fall ein kleiner Stein den grofsen nicht drückt und nicht sein Gewicht vermehrt, wie es in der Ruhe der Fall ist.

Simplicio. Aber wenn der grössere Stein auf dem kleineren ruhte?

Salviati. So würde er das Gewicht vermehren müssen, wenn seine Geschwindigkeit überwöge. Aber wir fanden schon, dafs, wenn die kleinere Last langsamer fiele, sie die Geschwindigkeit der grofsen vermindern müfste, und mithin die zusammengesetzte Masse weniger rasch sich bewegen würde als ein Teil, was gegen Eure Annahme spricht. Lafst uns also feststellen, dafs grofse

und kleine Körper von gleichem spezifischen Gewicht mit gleicher Geschwindigkeit sich bewegen.

Simplicio. Eure Herleitung ist wirklich vortrefflich, und doch ist es mir schwer zu glauben, dafs ein Bleikorn so schnell wie eine Kanonenkugel fallen soll.

Salviati. Ihr werdet, Herr Simplicio, nicht wie andere das Gespräch von der Hauptfrage ablenken und Euch an einen Ausspruch anklammern, bei welchem ich um Haaresbreite von der Wirklichkeit abweiche. Aristoteles sagt: ein Eisenstab von 100 Pfund kommt von einer Höhe von 100 Ellen herabfallend in einer Zeit an, in welcher ein einpfündiger Stab frei herabfallend nur 1 Elle zurückgelegt hat; ich behaupte, beide kommen bei 100 Ellen Fall gleichzeitig an. Ihr findet, dafs hierbei der gröfsere um 2 Finger breit vorauseilt, so dafs, wenn der gröfsere an der Erde ankommt, der kleinere noch einen Weg von 2 Fingerbreit zurückzulegen hat. Ihr wollt jetzt mit diesen zwei Fingern die 99 Ellen des Aristotelischen Fehlers hinwegschmuggeln und nur von meiner kleinen Abweichung reden, den gewaltigen Fehler des Aristoteles aber verschweigen.

Simplicio. Vielleicht aber würde bei einer Fallhöhe von mehreren Tausend Ellen das eintreten, was bei kleineren nicht beobachtet wird.

Salviati. Wenn Aristoteles so etwas gemeint haben sollte, würdet Ihr ihm einen ganz neuen Irrtum zumuten, ja eine Unwahrheit. Da man solche senkrechten Erhebungen auf der Erde gar nicht findet, so kann auch Aristoteles mit solchen nicht experimentiert haben, und doch will er uns von seinen Versuchen reden. Auch die andere Behauptung ist nicht minder falsch. Wenn der Satz wahr wäre, demgemäfs ein und derselbe Körper in Medien verschiedener Dichtigkeit wie z. B. Wasser und Luft, sich mit Geschwindigkeiten bewegte, welche diesen Dichtigkeiten umgekehrt proportional wären, so müfsten alle Körper, die in der Luft niederfallen, auch im Wasser sinken, was doch sehr falsch ist, da viele Körper in der Luft fallen, im Wasser dagegen emporsteigen.

Simplicio. Ich verstehe die Notwendigkeit Eurer Konsequenz; aber Aristoteles spricht von solchen Körpern, die in beiden Medien fallen, und nicht von solchen, die in der Luft fallen, aber im Wasser steigen.

Salviati. Sagt mir, ob die Dichtigkeiten von Wasser und Luft überhaupt in einem bestimmten Verhältnis stehen; und wenn Ihr dieses bejaht, dann nehmt einen beliebigen Wert dafür an.

Simplicio. Gut, angenommen, es sei zehn; daher wird ein Körper, der niederfällt, in der Luft sich 10 mal schneller bewegen als im Wasser.

Salviati. Jetzt denke ich mir einen Körper, der in der Luft fällt, im Wasser steigt, wie etwa ein Stück Holz, und überlasse Euch zu bestimmen, wie rasch er sich in der Luft bewegen soll.

Simplicio. Angenommen, es seien 20 Ellen Geschwindigkeit.

Salviati. Die Thatsache, dafs der Holzstab im Wasser nicht fällt, läfst mich erwarten, dafs Ihr zugeben werdet, es könne ein Stab von anderem Material sich finden, der im Wasser wirklich mit 2 Ellen Geschwindigkeit sich bewegte.

Simplicio. Gewifs, nur mufs die Materie schwerer sein als Holz.

Salviati. Eben das suche ich. Aber dieser zweite Stab, der im Wasser mit 2 Ellen Geschwindigkeit fällt, wie rasch würde er in der Luft fallen? Nach Aristoteles müfstet Ihr sagen, mit 20 Ellen Geschwindigkeit; aber letztgenannten Wert habt Ihr selbst dem Holze zuerkannt; also müfsten beide recht verschiedenen Körper mit gleicher Geschwindigkeit in der Luft sich bewegen. Wie stimmt das zum ersten Gesetz des Philosophen, demgemäfs verschiedene Körper in ein und demselben Medium sich mit ganz verschiedener Geschwindigkeit bewegen, und zwar im Verhältnis ihrer Gewichte?

Sagredo. Da Herr Simplicio schweigt, so erlaube ich mir, eine andere Sache vorzubringen. Obwohl Ihr klar bewiesen habt, dafs Körper von ungleichem Gewicht sich in ein und demselben Mittel mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, so wird hierbei doch vorausgesetzt, sie seien aus demselben Stoffe oder von demselben spezifischen Gewicht, denn Ihr werdet uns nicht zumuten, zu glauben, dass ein Stück Kork sich ebenso schnell bewege wie ein Stück Blei. Da Ihr ferner uns überzeugt habt, wie unrichtig es sei, anzunehmen, dafs ein und derselbe Körper in verschiedenen Medien Geschwindigkeiten annehme, die den Widerständen umgekehrt proportional seien, so würde ich sehr zu wissen wünschen, welche Verhältnisse in diesen Fällen statthaben.

Salviati. Nachdem ich mich von der Unwahrheit dessen überzeugt hatte, dafs ein und derselbe Körper in verschieden wider-

stehenden Mitteln Geschwindigkeiten erlange, die den Widerständen umgekehrt proportional sind, sowie von der Unwahrheit dessen, dafs Körper von verschiedenem Gewicht in ein und demselben Mittel diesen Gewichten proportionale Geschwindigkeiten erlangen, kombinierte ich beide Erscheinungen, indem ich Körper von verschiedenem Gewicht in verschieden widerstehende Medien brachte. Ich fand, dafs die erzeugten Geschwindigkeiten um so mehr von einander abwichen, je gröfser der Widerstand des Mediums war, und zwar in solchem Betrage, dafs zwei Körper, die in der Luft nur sehr wenig verschieden fallen, im Wasser um das Zehnfache differieren können. Auch kommt es vor, dafs ein Körper in der Luft fällt, im Wasser dagegen schwebt, d. h. sich gar nicht bewegt, ja sogar emporsteigt. Man kann leicht solche Holzarten oder knotige Stellen desselben finden, die im Wasser schweben, während sie in der Luft schnell fallen. Ich habe mir Mühe gegeben, eine Stange Wachs, die sonst nicht untersinkt, mit Sandkörnern zu bekleben, bis das Gewicht gleich dem des Wassers wird und das Wachs in der Mitte des letzteren schwebt; trotz aller Vorsicht ist mir dies nicht gelungen. Ich weifs nicht, ob es eine andere feste Materie giebt mit völlig der des Wassers gleicher Dichtigkeit, so dafs sie überall in demselben schweben könnte.

Salviati. In solchen, wie in tausend anderen Verrichtungen sind viele Tiere uns überlegen. In Eurem Falle liefsen sich die Fische nennen, da sie in der Ausübung solch einer Thätigkeit so gewandt sind, dafs sie nach Belieben sich im Gleichgewicht erhalten, nicht nur in reinem Wasser, sondern auch in verschiedenartig beschaffenem. Wie ich glaube, bewirken sie das, indem sie sich eines von der Natur zu diesem Zwecke ihnen verliehenen Organes bedienen, jener kleinen Blase nämlich, die durch eine ziemlich enge Öffnung mit dem Munde kommuniziert, so dafs sie je nach dem Zwecke Luft, die in der Blase enthalten ist, ausstofsen, oder wenn sie an die Oberfläche geschwommen sind, neue Luft einziehen können und sich so nach Belieben äquilibrieren.

Sagredo. Mit einem Kunstgriff habe ich einmal einige Freunde getäuscht, indem ich mich rühmte, das Wachs mit dem Wasser ins Gleichgewicht gebracht zu haben. Ich hatte zunächst Salzwasser genommen und darüber süfses Wasser gegossen, da blieb der Wachsstab in der Mitte schweben; und sowohl, wenn man ihn zu Boden stiefs, als auch, wenn man ihn emporhob, strebte er zurück in die Mitte.

Salviati. Das ist ein ganz nützlicher Versuch. Wenn man mit den Eigenschaften des Wassers sich abgiebt und von dem verschiedenen spezifischen Gewicht spricht, so wird man mit einem Stabe die kleinsten Unterschiede nachweisen können, indem derselbe in dem einen Wasser sinkt, im andern emporsteigt. So genau kann der Versuch ausgeführt werden, dafs eine Zulage von 2 Gran Salz auf 6 Pfund Wasser den Stab aufsteigen lassen wird, der soeben noch gesunken war. Nicht nur die Auflösung einer schwereren Substanz bewirkt solches, sondern auch die einfache Erwärmung und Abkühlung.

Die Differenz der Geschwindigkeiten verschiedener Körper von verschiedenem spezifischen Gewicht ist im allgemeinen grösser in den stärker widerstehenden Medien; im Quecksilber sinkt Gold allein, während alle anderen Metalle und Steine emporsteigen und schwimmen. Andererseits fallen Gold, Blei, Kupfer, Porphyr und andere schwere Körper mit fast unmerklicher Verschiedenheit in der Luft, Gold aus 100 Ellen Höhe kaum vier Fingerbreit früher als Kupfer. Angesichts dessen glaube ich, dafs wenn man den Widerstand der Luft aufhöbe, alle Körper ganz gleich schnell fallen würden.

Simplicio. Das ist eine gewagte Behauptung, Herr Salviati. Ich meinerseits werde nie glauben, dass im Vakuum eine Wollenflocke ebenso schnell wie Blei fallen werde[1]).

Salviati. Nur gemach, Herr Simplicio. Wir wollen die Bewegung der verschiedensten Körper in einem nicht widerstehenden Mittel untersuchen, sodafs alle Verschiedenheit auf die fallenden Körper zurückzuführen wäre. Und da nur ein Raum, der völlig luftleer ist, auch keine andere Materie enthält, sei dieselbe noch so fein und nachgiebig, geeignet erscheint, das zu zeigen, was wir suchen, und da wir solch einen Raum nicht herstellen können, so wollen wir prüfen, was in feineren Medien und weniger widerstehenden geschieht im Gegensatz zu anderen weniger feinen und stärker widerstehenden. Finden wir thatsächlich, dafs verschiedene Körper immer weniger verschieden sich bewegen, je nachgiebiger die Medien sind, und dafs schliefslich trotz sehr grofser Verschiedenheit der fallenden Körper im allerfeinsten Medium der allerkleinste Unterschied verbleibt, ja eine kaum noch wahrnehmbare Differenz, dann scheint mir, dürfen wir mit grofser Wahr-

[1]) Bekanntlich gehört dieser Nachweis zu den Versuchen, die heute im elementaren Physikunterricht angestellt werden.

scheinlichkeit annehmen, dass im Vakuum völlige Gleichheit eintreten werde. Ein schwerer Körper hat von Natur das Prinzip, sich gegen das gemeinsame Centrum schwerer Körper zu bewegen, d. h. gegen unseren Erdball, und zwar mit einer stetig und gleichmäfsig beschleunigten Bewegung, demgemäfs in gleichen Zeiten gleiche neue Geschwindigkeiten hinzugefügt werden. Das tritt allemal ein, wenn zufällige und äufsere Hindernisse hinweggeräumt sind; unter diesen giebt es eins, welches sich nicht fortschaffen läfst, nämlich das des Mediums, in welchem der fallende Körper sich bewegen soll. Das Medium setzt der Bewegung, auch wenn es nachgiebig und in Ruhe ist, einen Widerstand entgegen, der je nach Umständen gröfser oder kleiner ist, und zwar umso gröfser, je geschwinder das Medium sich öffnen mufs, um den Körper hindurchzulassen, welch letzterer daher, von Natur beschleunigt fallend, einen stets wachsenden Widerstand erfährt. Daher entsteht eine Verzögerung und Verminderung aller neuerworbenen Geschwindigkeiten, sodafs schliefslich alle Beschleunigung aufgehoben wird und der Körper in eine gleichförmige Bewegung gerät, in welcher er fernerhin verharrt.

# 8. Die Entdeckung der Jupitermonde und der Saturnringe.

## Zwei Briefe Galileis an den ersten Staatssekretär des Grofsherzogs von Toscana[1]).

Venedig, 30. I. 1610.

Ich befinde mich jetzt in Venedig, um einige Beobachtungen, die ich mit meinem Fernglas am Himmel gemacht habe, drucken zu lassen. Ich bin von Verwunderung ganz aufser mir und sage Gott unendlichen Dank, dafs es ihm gefallen hat, so grofse und allen Jahrhunderten unbekannte Wunder durch mich entdecken zu lassen. Dafs der Mond ein der Erde gleicher Körper sei, dessen war ich schon versichert und zum Teil hatte ich es unserem Durchlauchtigsten Herzog schon dargethan. Dies geschah aber auf eine

1) Aus Fabronis „Lettere inedite d' uomini illustri, Florenz. 1773", übersetzt von C. J. Jagemann. Siehe Geschichte des Lebens und der Schriften des Galileo Galilei von C. J. Jagemann, Weimar. 1783.



sehr unvollkommene Weise, weil ich noch mit keinem so trefflichen Fernglase versehen war wie jetzt. Auch habe ich eine Menge nie gesehener Fixsterne, welche die Zahl derer, die man mit blofsen Augen sehen kann, mehr als zehnmal übertrifft, entdeckt und weifs nun, was die Milchstrafse ist, über welche sich die Weltweisen zu allen Zeiten gestritten haben. Was aber alle Grenzen der Verwunderung übersteigt, das sind die vier neuen Planeten, deren Dasein und Bewegung ich entdeckt habe. Diese neuen Planeten bewegen sich um einen anderen sehr grofsen Stern[1]), wie sich Venus, Merkur und die anderen bekannten Wandelsterne um die Sonne bewegen.

Padua, d. 30./VII, 1610.

. . . Ich habe den 15. d. M. wieder angefangen, den Jupiter mit seinen vier Monden zu beobachten. Zugleich habe ich ein ganz aufserordentliches Wunder entdeckt, welches ich jetzt nur unserem Durchlauchtigsten Fürsten und Ihnen offenbaren will, bis ich es durch den Druck öffentlich bekannt mache, damit, wenn es je einem andern begegnete, mir die Ehre, es zuerst entdeckt zu haben, nicht streitig gemacht werden kann. Ich habe entdeckt, dafs Saturn aus drei Kugeln besteht, die sich fast berühren, nie ihre Stelle gegen einander verlieren und längs des Tierkreises in einer Reihe, wie ○◯○ stehen, dergestalt, dafs der mittlere die andern dreimal an Gröfse übertrifft[2]).

# 9. Gilbert erforscht die Natur des Magneten. 1600.

## Über die Pole, die Teilung und die Anziehung des Magneten[3]).

*William Gilbert (1540 — 1603), der gelehrte Leibarzt der Königin Elisabeth, war einer der ersten, der auf dem Wege des Experiments die Natur zu erforschen suchte. Mit dem Erscheinen seines Buches über den Magneten (1600) beginnt die wissenschaft-*

1) Gemeint ist Jupiter mit seinen Monden.

2) Richtig gedeutet wurde diese Erscheinung erst 50 Jahre später durch Huyghens, welcher sie auf einen den Saturn umgebenden Ring zurückführte

3) Aus „Gilbert, De magnete magneticisque corporibus et magno magnete tellure, London 1628", übersetzt von F. Dannemann.

*liche Behandlung der Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus. Auch die Auffassung, dafs die Erde ein kugelförmiger Magnet sei, rührt von Gilbert her. Die Versuche mit seiner Terella, von welchen der nachfolgende Auszug einige beschreibt, führten ihn zu dieser Annahme. Gilbert hob ferner den Unterschied zwischen magnetischer und elektrischer Anziehung hervor. Eine befriedigende, das heifst zu neuen Entdeckungen führende Theorie der von ihm beobachteten Erscheinungen vermochte Gilbert noch nicht zu geben. Der weitere Ausbau der von ihm erschlossenen Forschungsgebiete erfolgte besonders im 18. Jahrhundert (Siehe 27 und 28).*

Jeder Magnet hat einen nördlichen und einen südlichen Pol, einerlei, ob der Magnet stark oder schwach ist, ob er eine künstlich hervorgerufene oder zufällige Form besitzt, ob er lang, quadratisch, geglättet oder rauh ist. Da indes die Kugelform sowohl die vollkommenste ist, als auch der kugeligen Gestalt der Erde entspricht und für die Versuche sich am besten eignet, so will ich die wichtigsten an dem Stein zu beobachtenden Erscheinungen mit einem kugelförmigen Magneten anstellen.

Man nehme also einen kräftigen festen Magnetstein von geeigneter Gröfse und gebe demselben mit einem zum Abrunden von Krystallen dienenden Werkzeug die Kugelform. Der so behandelte Stein ist das getreue und vollkommene Ebenbild der Erde; wir wollen ihn daher Terella[1]) nennen.

Um die den Polen der Erde entsprechenden Pole des Magneten zu finden, nehme man denselben in die Hand und lege einen dünnen Eisendraht über den Stein. Die Enden des Drahtes werden dann in Bewegung geraten und plötzlich zur Ruhe kommen. Den Stein bezeichne man dort, wo der Faden liegt und haftet, mit Ocker oder Kreide. Darauf bringe man die Mitte des Fadens an eine andere Stelle, sowie an eine dritte und vierte, indem man jedesmal den Stein in der Längsrichtung des Fadens mit einem Striche versieht. Diese Striche werden den Meridianen vergleichbare Linien auf der Terella vorstellen, und es wird sich deutlich zeigen, dafs dieselben in den Polen des Magnetsteins zusammen laufen. In gleichem Abstande von diesen Polen läfst sich dann ein gröfster Kreis ziehen, der dem Äquator entsprechen würde.

1) Ein auf Deutsch schlecht wiederzugebendes Diminutiv von Terra, die Erde.



Ein anderes Verfahren, die Pole aufzufinden, besteht darin, dafs man sich einer Magnetnadel bedient, die mit einer Vertiefung versehen und auf der Spitze einer Nadel so angebracht ist, dafs sie sich frei bewegen kann.

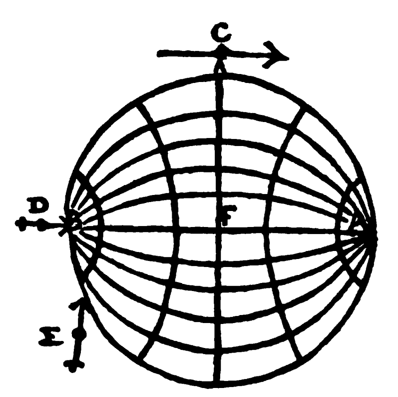


Fig. 3 (aus Gilbert, de magnete).

Dieser Kompafs wird so auf den Stein A B in C aufgestellt, dafs sich die Nadel im Gleichgewicht befindet. Darauf werde die Richtung der ruhenden Nadel mit Kreide bezeichnet, dann das Instrument auf eine andere Stelle gebracht und die Richtung wieder vermerkt. Geschieht dies an recht vielen Stellen, so wird man aus dem Zusammenlauf der Linien den einen Pol an dem Punkte A, den anderen bei B finden. Den Pol selbst zeigt auch die dem Steine genäherte Magnetnadel an, indem sie sich lebhaft rechtwinklig zur Oberfläche des Steines einstellt und auf den Pol und somit nach dem Mittelpunkt des Steines hinweist [1]).

Wie der eine Pol der Erde nach dem Gestirn des Nordpols [2]) gerichtet ist und immer nach einem bestimmten Punkte des Himmels hinschaut, während der andere nach der entgegengesetzten Gegend des Himmels blickt, so besitzt auch der Magnet das Vermögen, sich nach dem Nord- und Südpol einzustellen, wie es die Fig. 4 zeigt.

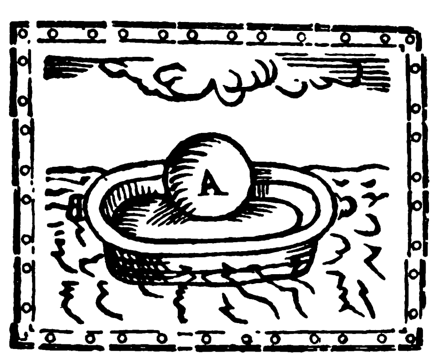


Fig. 4 (aus Gilbert, de magnete).

Man lege einen Magnetstein A, nachdem man die Pole aufgefunden, in ein rundes Holzgefäfs BC und bringe denselben mit dem Gefäfs in einen gröfseren mit Wasser gefüllten Behälter, so dafs er unbehindert in der Mitte des letzteren schwimmt. Der Stein wird sofort mit dem Gefäfs, welches ihn trägt, in Bewegung geraten und sich so lange

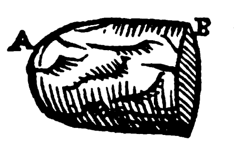
1) Gilbert, de magnete, Buch I, Kapitel III.
2) Das Sternbild des kleinen Bären, zu dem der Nordstern gehört.

drehen, bis der Südpol nach Norden und der Nordpol nach Süden zeigt[1]).

Es ist bekannt, dafs der Magnet das Eisen anzieht; in derselben Weise zieht aber auch ein Magnetstein einen anderen an. Man lege einen Magnetstein, dessen Pole erkannt und bezeichnet sind, in ein passendes Gefäfs, sodafs er darin schwimmt. Die Pole mögen in die Ebene des Horizontes fallen. Man nehme den anderen Stein, dessen Pole ebenfalls festgestellt sind, in die Hand, sodafs der Südpol desselben gegen den Nordpol des schwimmenden gekehrt ist und ihm von der Seite her genähert wird. Sofort wird der schwimmende Stein darauf zustreben, bis er daran haftet, wenn man ihn nicht durch die davorgehaltene Hand an der Berührung hindert. Nähert man darauf den Nordpol des Steines, den man in der Hand hält, dem Südpol des schwimmenden, so erfolgt wieder eine Anziehung. Entgegengesetzte Pole ziehen sich also an. Wenn man aber den Südpol dem Südpol, und den Nordpol dem Nordpol in derselben Weise nähert, so entfernen sich die Steine von einander.

Man wähle einen länglichen Magnetstein AD, dessen Nordpol A, dessen Südpol D ist, und teile denselben in zwei gleiche Teile. Darauf lasse man den Teil AB in dem Gefäfs auf Wasser schwimmen. Man wird bemerken, dafs der Nordpol A nach Süden zeigt wie vorher und ebenso D nach Norden. B und C aber, die vorher miteinander verbunden waren, sind jetzt zum Nord- und Südpol geworden. Der Südpol B zieht den Nordpol C an. Ist kein Hindernis vorhanden und das Gewicht aufgehoben, wie es auf der Oberfläche des Wassers der Fall ist, so nähern sich diese Pole und vereinigen sich. Nähert man jedoch den Pol A dem Pole C des andern Steines, so fliehen sie einander[2]).



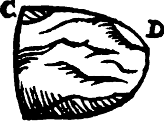




Fig. 5 (Aus Gilbert, de magnete).

Die Ursache der magnetischen Bewegungen ist von den Kräften des Bernsteins sehr verschieden. Die alten und auch neuere Schrift-

---

[1]) Gilbert, de magnete, Buch I, Kapitel IV.

[2]) Gilbert, de magnete, Buch I, Kapitel V.

steller erwähnen, dafs der Bernstein Spreu anzieht. Dasselbe thut auch der Gagat, welcher in England, Deutschland und vielen anderen Ländern aus der Erde gegraben wird. Aber nicht nur diese beiden Substanzen ziehen kleine Körper an, sondern auch der Diamant, Sapphir, Rubin, Opal, Amethyst, Beryll und Bergkrystall zeigen das gleiche Verhalten. Ähnliche anziehende Kräfte scheint auch das Glas zu besitzen. Auch Schwefel und Harz ziehen an.

Alle diese Substanzen ziehen nicht blofs Spreu an, sondern auch sämtliche Metalle, Holz, Blätter, Steine, Erde, sogar Wasser und Öl, kurz alles was durch unsere Sinne wahrgenommen werden kann. Damit man aber durch Versuche feststellen kann, wie diese Anziehung stattfindet und welches die Materien sind, die alle Körper auf solche Weise anziehen, richte man sich einen 3—4 Zoll langen Zeiger aus irgend einem Metall her und bringe denselben auf der Spitze einer Nadel, ähnlich wie bei einem Kompass, leicht beweglich an. Nähert man dann diesem Zeiger Bernstein oder Bergkrystall, nachdem man sie etwas gerieben hat, so wird der Zeiger sofort in Bewegung geraten.

Der Magnet äufsert seinen Magnetismus ohne vorhergegangenes Reiben, sowohl im trockenen als im feuchten Zustande, in der Luft wie im Wasser, ja selbst, wenn die dichtesten Körper, seien es Platten aus Holz und Stein oder Scheiben aus Metall, dazwischen gebracht sind. Der Magnet wirkt nur auf magnetische Körper, während elektrische Substanzen alles anziehen[1]). Auch vermag der Magnet bedeutende Lasten zu tragen, während der elektrische Körper nur sehr kleine Gewichte anzuziehen vermag[2]).

[1]) Gilbert war nur die elektrische Anziehung bekannt, dafs sich elektrisierte Körper auch abstofsen können, wurde erst von Guericke entdeckt.

[2]) Gilbert, De magnete, Buch II, Kapitel II.

# 10. Johannes Keppler.

## Kepplers ausführlicher Bericht über den im September und Oktober 1607 erschienenen Kometen und seine Bedeutung[1]).

*Johannes Keppler wurde am 27. Dezember 1571 zu Weil in Württemberg geboren, studierte in Tübingen Theologie, Mathematik und Astronomie und erhielt 1594 eine Professur in Graz. Durch religiösen Fanatismus von dort vertrieben, wurde er 1601 Hofastronom und Mathematiker Kaiser Rudolfs des Zweiten. Die kirchlichen und politischen Wirren seiner Zeit zogen Keppler bis zu seinem am 15. November 1630 in Regensburg erfolgten Tode oft und empfindlich in Mitleidenschaft. Trotzdem hat er Grofses auf dem Gebiete der Astronomie geleistet und durch die Entdeckung der nach ihm benannten Gesetze die Unvollkommenheiten, welche dem Kopernikanischen System noch anhafteten, aus dem Wege geräumt. Das erste und zweite Gesetz der Planetenbewegung teilte Keppler 1609 in seiner „Astronomia nova de motibus stellae Martis", das dritte 1619 in den „Harmonices mundi" mit. Zu einer auszugsweisen Wiedergabe sind diese beiden Hauptwerke nicht geeignet. Der nachstehende kurze Bericht Kepplers betrifft den Kometen vom Jahre 1607, der später der Halley'sche genannt wurde. Es ist dies der erste Komet, dessen Wiederkehr man vorausberechnete; seine Umlaufszeit beträgt 76 Jahre; er erschien zuletzt im Jahre 1835.*

Von den Kometen ist dieses meine einfältige Meinung. Wie es natürlich ist, dafs aus jeder Erde ein Kraut wächst, auch ohne Samen[2]) und in jedem Wasser, sonderlich im weiten Meer, Fische wachsen und darin umherschweben, so dafs auch der grofse öde Ocean nicht leer bleibt, sondern nach Gott des Schöpfers Wohlgefallen die grofsen Walfische und Meerwunder denselben durchwandern, so ist es auch mit der himmlischen, überall befindlichen Luft beschaffen. Sie besitzt nämlich das Vermögen, aus sich selbst die Kometen zu gebären, damit sie, wie weit sie auch sei, an allen Orten von den Kometen durchgangen werde und auf solche Weise nicht ganz leer bleibe.

---

1) Dieser Bericht, welcher 1608 erschien, ist hier mit wesentlicher Kürzung und Fortlassung der überwiegend astrologischen Abschnitte wiedergegeben sowie bezüglich der Schreib- und Ausdrucksweise dem heutigen Standpunkt der deutschen Sprache entsprechend geändert.

2) Der Glaube an die Möglichkeit einer elternlosen oder Urzeugung war zur Zeit Kepplers noch allgemein verbreitet (Siehe 60).



Wenn sie etwa an einem Orte dick wird, so dafs die Sonne und die Sterne ihre Strahlen nicht hindurchschiefsen und auf der Erde leuchten können [Wie wir ja aus den Überlieferungen Beispiele haben, dafs die Sonne mehrere Tage nacheinander, z. B. im Jahre 1547 vom 22.—26. April, ja auch fast ganze Jahre Blutfarbe geschienen], dann ist es Zeit und bringt es dieser himmlischen Luft lebhafte Natur mit sich, dafs eine solche dicke Materie zusammengezogen, ihrer Natur nach erleuchtet und wie andere Sterne mit einer Bewegung begabt werde. Denn, dafs die Kometen weit über dem Mond und tief im Himmel drinnen sind, ist von dem hochberühmten Tycho Brahe[1]) hinreichend erwiesen worden.

Die Philosophen, welche bei der alten Meinung beharren, mögen es mir nicht für Übel nehmen, dafs ich eine neue Ansicht einführe oder vielmehr die uralte Lehre des Anaxagoras und Demokrit wieder unter der Bank hervorziehe und dem Himmel zuschreibe, was man bisher nicht glauben wollte, dafs nämlich darin ebensowohl etwas Neues entstehen könne, wie hier auf der Erde in dieser feuchten Luft[2]).

Zwar denjenigen, welche nicht Gelehrte von Beruf sind, ist es nicht zu verübeln, dass sie nicht alles, was man täglich neues erfindet, durchlesen und begreifen können. Die Kalenderschreiber aber, wie auch etliche Universitätslehrer, sollten es nicht für eine ausgemachte Sache ausgeben, dafs aller Kometen Materie gleich einem Nebel aus dem Erdboden hervorschwitze[3]).

Doch halte ich dafür, der Kometen Bewegung sei, obgleich sie dem Himmel angehören, geradlinig wie die einer Rakete, und nicht eine kreisförmige wie diejenige der Planeten.

Ich nehme an, dafs der Himmel solcher Kometen so voll ist,

---

1) Dänischer Astronom (1546—1601) und Vorgänger Kepplers am Hofe Rudolfs des Zweiten. Seine Beobachtungen zeichneten sich durch eine bis dahin unerreichte Genauigkeit aus und bildeten die Grundlage von Kepplers Entdeckungen.

2) Aristoteles, der vielen zur Zeit Kepplers noch als Autorität galt, schrieb im Gegensatz zu den genannten Philosophen den Fixsternen ein wandelloses Sein zu und liefs die Welt des Werdens und Vergehens erst unter dem Monde beginnen. Die Planeten bekundeten dagegen nach ihm, zumal durch ihre ungleichmäfsige Bewegung, eine mittlere Stellung zwischen beiden Regionen. Diese Lehre des Aristoteles wurde besonders durch das Aufleuchten neuer Fixsterne in den Jahren 1600 und 1604 und deren späteres allmähliches Verschwinden ad absurdum geführt.

3) Man vergleiche hiermit die älteren Ansichten über die Bildung der Meteore nach Chladnis Darstellung in Nr. 26 dieses Buches.

wie das Meer voller Fische. Dafs man aber selten solcher Kometen ansichtig wird, geschieht wegen der unermefslichen Weite der himmlischen Luft. Daher kommt es, dafs nur diejenigen gesehen werden, welche nahe der Erde in der himmlischen Luft vorüberschiefsen.

Wenn nun eine solche durchsichtige Kugel im Himmel schwebt und die Sonne mit ihren geradlinigen Strahlen darauf trifft und sie durchdringt, so glaube ich, dafs solche Strahlen etwas von der Materie der Kometenkugel mit sich davon führen und also den Kometen bleichen, durchtreiben und endlich gar vertilgen, ebenso wie bei uns hier auf der Erde die Sonne alle Farben aus leinenen Tüchern vertilgt und vertreibt und sie also schneeweifs macht.

Wie gesagt, die Sonnenstrahlen durchdringen den Körper des Kometen und nehmen augenblicklich etwas von dessen Substanz mit sich ihren Weg hinaus, von der Sonne fort. Ich halte dafür, dafs daher der Schwanz des Kometen rührt, der sich immer von der Sonne abgekehrt erstreckt. Denn es ist unmöglich, dafs die Sonnenstrahlen in der klaren reinen himmlischen Luft sichtbar werden sollten, wenn sie nicht eine Materie fänden, auf welche sie fielen.

Ebenso ist es unmöglich, dafs der Sonnenschein sich in der freien himmlischen Luft krümmen sollte, wie etliche Kometen-Schwänze krumm erscheinen, denn des Lichtes Fall und Strahlenschüsse geschehen in einer geraden Linie.

Deshalb ist es wahrscheinlicher, dafs solche gekrümmte Kometenschweife besagtermafsen ihre aus dem Kometen fliefsende Materie haben. Ein solcher Ausflufs kann aus mehreren Ursachen von der der Sonne entgegengesetzten Richtung abweichen, z. B. wenn ein Wind dreinbliese (was ich nur gleichnisweise anführe) oder wenn des Kometen Kopf einen so schnellen Lauf besäfse, dass er die von den Sonnenstrahlen ausgetriebene Materie hinter sich liefse.

Dafs der Schweif ein materieller Ausflufs des Körpers ist, bezeugen besonders diejenigen Kometen, welche mit ihren Schweifen blicken oder schiefsen wie ein Nordlicht. Das hat man nicht allein an dem grofsen Kometen im Jahre 1577 bemerkt, sondern Cardanus[1]) schreibt ausdrücklich von dem Kometen des Jahres 1556, dafs er keinen beständigen Schwanz gehabt, sondern geblickt

[1]) Italienischer Physiker und Mathematiker (1501—1576). Die sogenannte Cardanische Formel zur Auflösung der Gleichungen 3. Grades hat er nur bekannt gemacht, aber nicht selbst gefunden.



und geschofsen habe, wie die Flammen in einer Feuersbrunst zu thun pflegen. Es bezeugt dies auch von dem jetzigen Kometen fast jedermann, der ihn mit Fleifs angeschauet, sodafs ich mit meinem schlechten Gesicht den Schwanz nur sehen kann, wenn er einen Blick oder Schufs thut, da er dann lang genug wird und wohl zu sehen ist.

Hier läfst sich abermals die grofse Fahrlässigkeit des Haufens der Kalenderschreiber und etlicher Gelehrten unrühmlich sehen, die da mit sehenden Augen lieber blind sind als unserer jetzigen Zeit die Ehre gönnen und bekennen, dafs wir etwas mehr erfahren und erlebt haben wie Aristoteles und andere von den Alten. Diese bleiben halsstarrig dabei, der Komet sei eine brennende Fackel und sein Schwanz die Flamme derselben. Mit dieser täglich wiederholten Behauptung füllen sie alle Buchläden und betrügen so sich und andere. Denn obgleich der Schweif des Kometen, wie erwähnt, bisweilen flackert, ist er doch keine Flamme, sonst würde er sich nicht immer von der Sonne abkehren. Auch ist sein Flackern ganz anders, als das einer Flamme und viel eher ein Blinken zu nennen.

Wenn es sich so verhält und die Materie des Kometen diese Beschaffenheit hat, so ist leicht zu entnehmen, worin seine natürliche Bedeutung und Wirkung besteht.

Ich will von vornherein nicht unbedingt in Abrede stellen, dafs auf etliche derartige Kometen grofse Landsterben natürlicherweise erfolgen können, wenn nämlich der Schwanz etwa die Erde berührte, während der Konjunktion des Kometen mit der Sonne, oder der Komet denselben an einen Ort des Himmels geworfen hätte, welchen später die Erde bei ihrem jährlichen Umlauf um die Sonne passieren müfste, sodafs die Luft verunreinigt würde. Da dies aber gar selten geschieht, so müssen wir nach einem anderen Grund suchen, um eine etwaige natürliche Wirkung der Kometen zu erklären.

Denn um die Wahrheit zu sagen, es will mir jene Erklärung fast so wenig einleuchten, wie diejenige, welche sowohl Aristoteles als nach ihm die Kalenderschreiber geben, die nämlich lächerlicherweise annehmen, der Komet bringe deshalb Sturm, weil er ein brennendes Feuer sei; dafs ferner ein Komet der Erde ihre Kraft und Feuchtigkeit entziehe und von dem Rauche dieses Brandes die Luft vergiftet werde.

Ist etwas daran, dafs nach Ordnung der Natur besagte Zustände, wie Wind, Überschwemmung, Trockenheit und Pestilenz

durch einen Kometen verursacht und also vorbedeutet werden, so mufs dies folgendermafsen zugehen:

Wenn im Himmel etwas Seltsames entsteht, so empfindet solches und entsetzt sich gleichsam darüber die ganze Natur und alle lebhaften Kräfte aller natürlichen Dinge. Diese Sympathie mit dem Himmel erstreckt sich sonderlich auf diejenige lebhafte Kraft, welche in der Erde steckt und die inneren Zustände derselben beherrscht, infolgedessen dieselbe gleichsam entsetzt an einem Orte je nach dessen Beschaffenheit viel feuchte Dämpfe emportreibt, woraus Regen und Überschwemmung und dadurch allgemeine Landseuchen, Katarrh (wie 1582) oder gar Pestilenz (wie 1596) entstehen.

Auch der Mensch, wenn er selbst blind wäre und den Himmel nie gesehen hätte, hat doch dergleichen empfindliche und auf den Himmel weise aufmerkende Kräfte, welche durch solche von neuem im Himmel auftauchenden Kometen ebenfalls beunruhigt und bestürzt werden, und nicht allein zu unnatürlichen Bewegungen des Geblüts und anderer Säfte und infolgedessen zu Krankheiten, sondern auch zu starken Gemütserregungen Veranlassung geben.

Was aber die Beziehung des Kometen zum Menschengeschlecht anbelangt, so sage ich, dafs er von Gott darum an den Himmel gestellt ist, die Menschen alle miteinander und jeden in Sonderheit, den grofsen Haufen sowohl als dessen Regenten und Häupter, daran zu erinnern, dafs sie sterblich sind. Der Komet zeigt an, dafs die ganze Welt, ja der Himmel selbst, vergänglich ist und von einer Zeit zur andern verwandelt wird. Darum sollten wir Menschen um so weniger zürnen, dafs wir als in diese vergängliche Welt gesetzte Geschöpfe auch vergänglich sind.

# 11. Baco als Verkünder der induktiven Forschungsweise. 1620.

## Über die Erklärung der Natur und die Herrschaft des Menschen[1]).

*Francis Bacon wurde am 22. Januar 1561 in London geboren, studierte in Cambridge und fafste schon frühzeitig den Plan,*

1) Franz Baco s Neues Organon, übersetzt und erläutert von J. H. v. Kirchmann. Berlin 1870 (32. Bd. der Philosophischen Bibliothek).

*die Wissenschaften von den Auswüchsen der aristotelisch-scholastischen Philosophie zu reinigen und ihnen einen induktiven Charakter zu verleihen. Baco hat jedoch nach dieser Richtung mehr durch das Wort als durch das eigene Beispiel gewirkt. Sein Hauptwerk, das neue Organon, erschien im Jahre 1620. Es besteht aus einer Anzahl kurzer Abschnitte, unter denen hier eine Auswahl getroffen ist. Bacon starb am 9. April 1626.*

1.

Zwei Wege zur Erforschung und Entdeckung der Wahrheit sind möglich. Auf dem einen fliegt man von den Sinnen und dem Einzelnen gleich zu den allgemeinsten Sätzen hinauf, und bildet und ermittelt aus diesen obersten Sätzen, als der unerschütterlichen Wahrheit, die mittleren Sätze. Dieser Weg ist jetzt in Gebrauch. Der zweite zieht aus dem Sinnlichen und Einzelnen Sätze, steigt stetig und allmählich in die Höhe und gelangt erst zuletzt zu dem Allgemeinsten. Dies ist der wahre aber unbetretene Weg [1]).

2.

Beide Wege beginnen mit den Sinnen und dem Einzelnen und endigen mit dem Allgemeinsten; aber sie weichen darin von einander ab, dafs auf dem einen das Einzelne und die Erfahrung nur in Eile geprüft, auf dem anderen aber regelmäfsig und ordentlich dabei verblieben wird. Ebenso werden auf dem einen gleich im Anfang hohle und nutzlose Allgemeinheiten aufgestellt, während der andere allmählich zu denen aufsteigt, die wirklich der Sache nach die richtigen sind.

3.

Die Idole oder falschen Begriffe, die von dem menschlichen Geist schon Besitz ergriffen haben und fest in ihm wurzeln, halten den Geist nicht blofs so besetzt, dafs die Wahrheit nur schwer einen Zutritt findet, sondern dafs, selbst wenn dieser Zutritt gewährt und bewilligt worden ist, sie bei der Erneuerung der Wissenschaften immer wiederkehren und belästigen, so lange man sich nicht gegen sie vorsieht und nach Möglichkeit verwahrt.

[1]) Hier wird der Gegensatz zwischen dem deduktiven und induktiven Weg treffend hervorgehoben. Letzteren hatten Galilei, Gilbert und andere schon Jahrzehnte vor dem Erscheinen des neuen Organon mit grofsem Erfolge betreten; auch waren die Werke der genannten Forscher Bacon bekannt. Bacon darf also nicht etwa als Erfinder der induktiven Methode betrachtet werden, dagegen hat er sich um deren Ausbreitung grofse Verdienste erworben.

4.

Die Idole des Stammes haben ihren Grund in der menschlichen Natur, in dem Stamm oder Geschlecht der Menschen selbst. Denn es ist unrichtig, dafs der menschliche Sinn das Mafs der Dinge sei; vielmehr geschehen alle Auffassungen der Sinne und des Verstandes nach der Natur des Menschen, nicht nach der Natur des Weltalls. Der menschliche Verstand gleicht einem Spiegel mit unebener Fläche für die Strahlen der Gegenstände, welcher seine Natur mit der der letzteren vermengt, sie entstellt und verunreinigt.

5.

Die Idole der Höhle sind diejenigen des einzelnen Menschen. Denn jeder einzelne hat neben den Verirrungen der menschlichen Natur im allgemeinen eine besondere Höhle oder Grotte, welche das natürliche Licht bricht und verdirbt: teils infolge der eigentümlichen und besonderen Natur eines jeden, teils infolge der Erziehung und des Verkehrs mit anderen, teils infolge der Bücher, die er gelesen hat und der Autoritäten, die er verehrt und bewundert, und dergleichen mehr. Der menschliche Geist ist deshalb in seiner Verfassung bei dem einzelnen ein sehr veränderliches, gestörtes und gleichsam zufälliges Ding.

6.

Es giebt auch Idole, welche eine Folge der gegenseitigen Berührung und Gemeinschaft des menschlichen Geschlechtes sind, und die ich wegen des Verkehrs und der Verbindung der Menschen die Idole des Marktes nenne. Denn die Menschen gesellen sich zu einander vermittelst der Rede; aber die Worte werden den Dingen nach der Auffassung der Menge beigelegt; deshalb behindert die schlechte und thörichte Beilegung der Namen den Geist in merkwürdiger Weise. Auch die Definitionen und Erklärungen, womit die Gelehrten sich manchmal zu schützen und zu verteidigen pflegen, bessern die Sache keineswegs. Denn die Worte verleiten die Menschen zu leeren und zahllosen Streitigkeiten und Erdichtungen.

7.

Das gröfste Hemmnis und der gröfste Anlafs zu Irrtümern kommt dem menschlichen Verstande von dem Staunen, der Ohnmacht und den Täuschungen der Sinne; alles was die Sinne erschüttert, wird dann über das gestellt, bei dem dies nicht unmittelbar der Fall ist, wenn auch letzteres das Mächtigere sein sollte.

Deshalb hört die Betrachtung mit dem Sehen auf, und die unsichtbaren Dinge werden wenig oder gar nicht beobachtet. So ist die Natur der gewöhnlichen Luft beinahe unbekannt. Denn der Sinn für sich allein ist schwach und dem Irrtum ausgesetzt; auch helfen die Werkzeuge zur Erweiterung oder Verschärfung der Sinne nicht viel; vielmehr vollzieht sich die wahre Erklärung der Natur nur durch Einzelfälle und passende Versuche, wobei die Sinne nur über den Versuch, aber der Versuch über die Natur und den Gegenstand selbst das Urteil sprechen.

8.

Selbst in den Zeiten, wo die Wissenschaften am meisten blühten, ist auf die Naturwissenschaft der kleinste Teil der Arbeit verwendet worden, obgleich diese für die grofse Mutter aller Wissenschaften gelten mufs. Es ist bekannt, dafs nach Annahme und Aufkommen des christlichen Glaubens der gröfste Teil der ausgezeichneten Geister sich der Theologie zuwandte; für diesen Gegenstand waren die gröfsten Belohnungen ausgesetzt, und Hilfsmittel aller Art wurden auf das Reichlichste dafür gewährt.

Die besseren Geister der Römerzeit wandten sich mehr den bürgerlichen Geschäften zu, da die Gröfse des römischen Reiches die Arbeit vieler Menschen erforderte. Jenes Zeitalter aber, wo bei den Griechen die Naturphilosophie anscheinend am meisten geblüht hat, war nur von kurzer Dauer.

9.

Es zeigt sich noch eine andere bedeutende und grofse Ursache, weshalb die Wissenschaften so wenig vorwärts gekommen sind; sie liegt darin, dafs unmöglich der Wagen richtig vorwärts gehen kann, wenn das Ziel selbst fehlt oder nicht feststeht. Das wahre und rechte Ziel der Wissenschaften ist aber, das menschliche Leben mit neuen Erfindungen und Mitteln zu bereichern. Der grofse Haufe bekümmert sich indes darum nicht, er arbeitet nur handwerksmäfsig und auf Lohn. Nur zufällig müht sich mitunter ein Künstler von schärferem Geist und Ehrgeiz um eine neue Erfindung, aber meist auf Kosten seines Vermögens.

10.

Es mufs mit Staunen erfüllen, dafs kein Sterblicher es sich hat angelegen sein lassen, dem menschlichen Geist von den Sinnen und der Erfahrung aus einen regelmäfsigen und gut beschaffenen Weg zu öffnen und zu bahnen, sondern dafs man alles der Finster-

nis der Überlieferung oder den Wogen und Umwegen des Zufalls überlassen hat.

11.

Infolge einer alten, aber aufgeblasenen und verderblichen Meinung, dafs die Majestät des menschlichen Geistes Schaden leide, wenn er sich viel und lange mit Versuchen und einzelnen sinnlichen und bestimmten Gegenständen beschäftige, ist dieses Übel wunderbar gewachsen. So ist es bereits dahin gekommen, dafs der rechte Weg verschüttet und abgesperrt ist und dafs die Erfahrung verabscheut wird.

12.

Die Menschen sind ferner in den wissenschaftlichen Fortschritten gehemmt, ja gleichsam durch Zauber festgehalten worden, weil sie von Ehrerbietung vor dem Altertum erfüllt waren. Die Meinung aber, welche man über das Altertum hegt, ist voll Nachlässigkeit und entspricht nicht einmal dem Worte. Denn das Alter gebührt unserer Zeit und nicht jenem jüngeren Weltalter. Jene Zeit war nur in Rücksicht auf uns entfernt und älter, in Bezug auf die Welt aber neuer und jünger. So wie man nun in Wahrheit von einem erfahrenen Greise gröfsere Kenntnis der menschlichen Verhältnisse und ein reiferes Urteil als von einem Jüngling erwartet, so kann man auch von unserer Zeit, wenn sie ihre Kräfte kennte und sie versuchen und anstrengen wollte, viel mehr als von jenen alten Zeiten erwarten; denn unsere Zeit ist für die Welt die ältere und sie ist um unzählige Versuche und Beobachtungen reicher.

13.

Es darf auch nicht übersehen werden, dafs die Naturwissenschaft zu allen Zeiten einen listigen und zähen Gegner in dem Aberglauben und einem blinden und mafslosen Religionseifer gehabt hat. Schon bei den Griechen sieht man, wie die, welche zuerst die natürlichen Ursachen des Blitzes und der Stürme den daran nicht gewöhnten Ohren der Menschen predigten, deshalb des Unrechts gegen die Götter beschuldigt worden sind. Nicht viel besser sind von einigen alten christlichen Kirchenvätern diejenigen behandelt worden, welche auf Grund der sichersten Beweise, denen heute kein vernünftiger Mensch sich entgegenstellt, die Erde für eine Kugel erklärt und deshalb Gegenfüfsler angenommen haben. Ja, wie die Sachen stehen, ist die Besprechung der Natur durch das Verfahren der scholastischen Theologen jetzt

noch schwieriger und gefährlicher geworden. Einige befürchten in ihrer Einfalt, dafs eine tiefere Erforschung der Natur über die erlaubte Grenze hinausgehe. Andere besorgen, es möchte bei der Naturforschung etwas entdeckt werden, was die Religion namentlich bei den Ungelehrten schwächen könnte. Wer die Sache aber wohl überlegt, der sieht, dafs die Naturwissenschaft nächst dem Worte Gottes das beste Mittel gegen den Aberglauben und das erprobteste Stärkungsmittel für den Glauben ist. Die Religion offenbart den Willen Gottes, die Naturwissenschaft seine Macht.

14.

Auf den weiteren Fortschritt der Wissenschaften kann man nur dann mit Recht hoffen, wenn die Naturwissenschaft vorzugsweise solche Versuche aufnimmt und sammelt, die zwar keinen unmittelbaren Nutzen haben, aber zur Entdeckung der Ursachen und der Gesetze dienen.

Es ist aber nicht blofs die Zahl der Versuche zu vermehren, sondern es mufs durch eine andere Methode eine andere Ordnung und Regel bei der Fortsetzung und Beförderung der Erfahrung eingeführt werden. Denn eine unbestimmte, nur sich selbst überlassene Erfahrung ist ein reines Herumtappen und betäubt nur die Menschen, anstatt sie zu belehren; wenn aber die Erfahrung nach einer festen Regel in Ordnung und Zusammenhang vorschreitet, so läfst sich Besseres für die Wissenschaften hoffen.

15.

Manche bisherigen Erfindungen sind derart, dafs niemand vorher eine Ahnung davon gehabt, sondern dergleichen als Unmöglichkeiten verächtlich behandelt haben würde.

Hätte z. B. jemand vor Erfindung der Feuerwaffen sie nur nach ihren Wirkungen beschrieben und gesagt, man habe eine Erfindung gemacht, durch welche die gröfsten Mauern und Wälle aus weiter Entfernung erschüttert und niedergeworfen werden könnten, so würde man über die Gewalt der vorhandenen Maschinen und Vorrichtungen mannigfach nachgedacht haben, um sie durch Gewichte und Räder oder durch Vermehrung der Stöfse und Schläge zu verstärken; aber niemand würde in seiner Phantasie auf einen feurigen Dampf, der sich plötzlich und gewaltsam ausdehnt und aufbläht, geraten sein.

Hätte ebenso jemand vor der Erfindung des Kompasses erzählt, es sei ein Werkzeug erfunden worden, durch welches die Hauptpunkte des Himmels erkannt und unterschieden werden

könnten, so würde man der Verfertigung astronomischer Instrumente nachgegangen sein.

Deshalb kann man hoffen, dafs die Natur in ihrem Busen noch vieles Vortreffliche verborgen halte, was mit dem bisher Erfundenen keine Verwandtschaft und Ähnlichkeit hat, sondern weit ab von den Wegen der Einbildungskraft liegt. Unzweifelhaft wird es im Fortgang und Verlaufe der Jahrhunderte zum Vorschein kommen, ebenso wie es mit dem Früheren auch geschehen ist; aber auf dem von mir dargelegten Wege wird dies schneller und entschiedener geschehen.

## 12. Pascal entdeckt die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Höhe des Ortes. 1648.

### Bericht über die von Périer am Fusse und auf dem Gipfel des Puy-de-Dôme angestellten Barometerbeobachtungen[1]).

*Blaise Pascal wurde 1623 zu Clermont geboren und zeigte schon als Knabe eine hervorragende mathematische Befähigung, untergrub jedoch frühzeitig durch zu angestrengtes Studium seine Gesundheit und starb schon 1662 im Alter von 39 Jahren. Pascal brachte die Frage, ob ein Abscheu vor dem leeren Raum (Horror vacui) oder der Luftdruck das Aufsteigen der Flüssigkeiten verursache, zur Entscheidung. Er veranlafste nämlich seinen Schwager Périer den Torricellischen Versuch auf dem 970 m hohen Puy-de-Dôme zu wiederholen und erstattete über das Resultat den berühmt gewordenen Bericht, welchem die hier gegebenen Briefe entnommen sind.*

Brief Pascals an Périer.

15. November, 1647.

Ich würde die unausgesetzte Thätigkeit, welche Ihre Geschäfte mit sich bringen, nicht unterbrechen, um Sie mit physikalischen Problemen zu unterhalten, wenn ich nicht wüfste, dafs dieselben Ihnen in Ihren Mufsestunden Erholung gewähren. Was ich Ihnen jetzt mitteile, ist nur eine Fortsetzung der Gespräche, die wir miteinander in Bezug auf das Vakuum geführt haben. Wie Sie

1) Aus Pascals „Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs. Paris 1648" übersetzt von F. Dannemann.



wissen, haben alle Philosophen an dem Grundsatz festgehalten, die Natur verabscheue dasselbe. Ich habe in meiner Abhandlung über das Vakuum diese Meinung zu zerstören gesucht und glaube, dafs die Erfahrungsthatsachen, welche ich bezüglich dieser Frage herangezogen habe, klar erkennen zu lassen, dafs die Natur einen beliebig grofsen von aller Materie leeren Raum zulassen kann und in Wirklichkeit auch zuläfst. Ich bin jetzt damit beschäftigt, Thatsachen aufzusuchen, welche entscheiden lassen, ob die Wirkungen, die man dem Horror vacui zuschreibt, auf etwas derartiges zurückgeführt werden können oder durch die Schwere und den Druck der Luft veranlafst werden. Ich habe nun einen Versuch ausgedacht, der exakt ausgeführt allein genügen würde, diese Frage zu entscheiden. Der Versuch würde darin bestehen, das Vakuum in der bekannten Weise[1]) mehrere Male an einem Tage in derselben Röhre und mit demselben Quecksilber hervorzurufen, das eine Mal am Fufse, das andere Mal auf dem Gipfel eines Berges von wenigstens 5—600 Toisen[2]) Höhe, um zu prüfen, ob die Höhe des in der Röhre schwebenden Quecksilbers in beiden Fällen dieselbe oder verschieden ist. Ihr erkennt zweifelsohne schon, dafs dieser Versuch die Frage entscheiden würde. Wäre nämlich die Quecksilbersäule auf dem Gipfel kürzer als am Fufse des Berges, so würde daraus notwendig folgen, dafs der Luftdruck einzig und allein das Quecksilber in der Schwebe hält und nicht der Horror vacui. Es ist nämlich leicht ersichtlich, dafs am Fufse des Berges eine gröfsere Luftmenge einen Druck ausübt als auf dem Gipfel, während kein Grund zu der Annahme vorliegt, dafs die Natur in der unteren Region einen gröfseren Abscheu vor der Leere empfinden sollte als in der oberen.

Die Ausführung dieses Versuches ist nun mit mancherlei Schwierigkeiten verknüpft Man müfste zu diesem Zwecke einen hinreichend hohen Berg wählen, der sich in der Nähe einer Stadt befände. Dort müfste dann ferner jemand imstande sein, die erforderliche Sorgfalt auf diesen Versuch zu verwenden. Da es nun selten sich treffen wird, einmal aufserhalb Paris jemanden zu finden, der sich hierzu eignet, des ferneren einen Ort, für welchen die Bedingungen zutreffen, so schätze ich mich glücklich in meinem Falle sowohl die Person als den Ort gefunden zu haben,

---

1) Das heifst durch Erzeugung der Torricellischen Leere in einer mit Quecksilber gefüllten Röhre.

2) Die Toise oder der französische Klafter = 6 franz. Fufs = 1,949 m.

da unser Clermont am Fusse des 974 m hohen Puy-de-Dôme liegt und ich von Eurer Bereitwilligkeit hoffe, dafs Ihr die Güte haben werdet, diesen Versuch selbst anzustellen.

Euer sehr gehorsamer Diener

Pascal.

## Brief Périers an Pascal.

22. September 1648.

Endlich habe ich den Versuch angestellt, den Ihr so lange gewünscht habt. Ich erstatte Euch nachstehend einen ausführlichen und genauen Bericht.

Der letzte Samstag, der 19. d. Mts., war sehr unbeständig. Da jedoch das Wetter um fünf Uhr morgens schön zu werden versprach und der Gipfel des Puy-de-Dôme sich blicken liefs, entschlofs ich mich zur Besteigung, um den Versuch dort anzustellen. Ich benachrichtigte daher mehrere angesehene Personen Clermonts, welche mich gebeten hätten, ihnen den Tag, an dem ich mein Vorhaben ausführen würde, anzuzeigen.

Zuerst gofs ich in ein Gefäfs 16 Pfund Quecksilber; darauf nahm ich zwei Glasröhren von gleicher Dicke und vier Fufs Länge, die an einem Ende hermetisch verschlossen, am andern offen waren. Mit jeder derselben stellte ich in bekannter Weise das Vakuum her und zwar in demselben Gefäfs. Nachdem ich dann die beiden Röhren einander genähert hatte, ohne sie aus dem Gefäfs herauszunehmen, zeigte es sich, dafs das Quecksilber, welches in jeder geblieben war, sich in gleichem Niveau befand und die Höhe der Quecksilbersäulen von der Oberfläche des in dem Gefäfs befindlichen Quecksilbers gemessen 26 Zoll 3½ Linien betrug. Ich wiederholte dieses Experiment an demselben Orte mit eben denselben Röhren, demselben Quecksilber und dem gleichen Gefäfs noch zweimal. Immer zeigte sich, dafs das Quecksilber beider Röhren dasselbe Niveau innehielt und dafs die Höhe die gleiche war, wie das erste Mal.

Darauf liefs ich die eine Röhre in ihrem Gefäfse ohne den Versuch zu unterbrechen; ich merkte die Höhe der Quecksilbersäule auf dem Glase an und bat Ehrwürden Pater Chastin, sorgfältig und unausgesetzt während des ganzen Tages darauf zu achten, ob eine Änderung einträte. Mit der anderen Röhre und einem Teile desselben Quecksilbers begab ich mich in Begleitung mehrerer Personen auf den Gipfel des Puy-de-Dôme und stellte dort, 500 Toisen

oberhalb des ersten Ortes, in der gleichen Art denselben Versuch an, den ich vorher gemacht hatte. Es zeigte sich, dafs die Höhe der Quecksilbersäule in dieser Röhre nur 23 Zoll 2 Linien betrug, während sie in Clermont in derselben Röhre 26 Zoll 3½ Linien betragen hatte, sodafs der Unterschied in der Höhe der Quecksilbersäulen bei diesen beiden Versuchen sich auf 3 Zoll 1½ Linien belief. Dies erfüllte uns alle mit Bewunderung und Erstaunen und überraschte uns dermafsen, dafs wir, um uns von der Richtigkeit zu überzeugen, den Versuch noch fünfmal sehr sorgfältig an verschiedenen Stellen des Gipfels wiederholten, sowohl unter Dach in einer kleinen Kapelle, die sich dort befindet, als unter freiem Himmel, an geschützter Stelle sowie im Winde, während klares Wetter herrschte und bei einem Regenschauer. Immer zeigte sich bei all diesen Versuchen, dafs die Quecksilbersäule eine Höhe von 23 Zoll 2 Linien innehielt.

Später stellte ich beim Abstieg denselben Versuch mit den gleichen Apparaten an, und zwar an einem Orte, genannt Lafon de l'Arbre[1]). Dort fand ich, dafs die Höhe der Quecksilbersäule 25 Zoll betrug. Dies verschaffte uns keine geringe Genugthuung, da wir sahen, dafs die Höhe der Quecksilbersäule sich entsprechend der Höhe des Ortes verminderte.

Endlich nach Clermont zurückgekehrt fand ich daselbst an dem Apparat, den ich dort unverändert zurückgelassen, denselben Stand der Quecksilbersäule wie bei meinem Aufbruch, nämlich 26 Zoll 3½ Linien. Ehrwürden Pater Chastin, der zur Beobachtung zurückgeblieben war, berichtete uns, dafs während des ganzen Tages darin keine Änderung eingetreten sei, obgleich das Wetter sehr unbeständig gewesen wäre.

Ich wiederholte darauf den Versuch mit der Röhre, die ich auf dem Puy-de-Dôme benutzt hatte, und zwar in dem Gefäfse, in welchem sich die erste Röhre noch befand. Es zeigte sich, dafs das Quecksilber in beiden Röhren das gleiche Niveau besafs, und zwar bei einer Höhe von 26 Zoll 3½ Linien, wie am Morgen in derselben Röhre und während des ganzen Tages in derjenigen Röhre, die in unveränderter Stellung geblieben war.

Am folgenden Tage wurde mir von einer Seite der Vorschlag gemacht, denselben Versuch am Fufse und auf der Spitze des höchsten Turmes von Clermont zu wiederholen und zu erproben, ob in diesem Falle ein Unterschied bemerkbar sei. Um der Wifs-

1) 150 Toisen oberhalb Clermont.

begierde zu genügen, stellte ich noch am selben Tage das Experiment in einem Hause an, das sich am Fufse des Turmes befand. Wir fanden dort die Höhe der Quecksilbersäule gleich 26 Zoll 3 Linien. Darauf wiederholte ich den Versuch auf der Spitze des Turmes 20 Toisen über seinem Fufse. Dort betrug die Höhe des Quecksilbers 26 Zoll 1 Linie, war also um 2 Linien geringer.

Euer sehr geneigter Diener

Périer.

# 13. Die Erfindung der Luftpumpe.

## Otto von Guerickes neue „Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum[1]).

Kapitel II, III und IV.

*Otto von Guericke wurde am 20. November 1602 in Magdeburg geboren, studierte in Leipzig, Jena und Leyden und wurde 1646 Bürgermeister seiner Vaterstadt, bei deren Zerstörung durch Tilly im Jahre 1631 er nur das nackte Leben zu retten vermochte. 1654 zeigte Guericke auf dem Reichstage zu Regensburg die von ihm erfundene Luftpumpe, welche später durch den Engländer Boyle verbessert wurde, sowie den berühmt gewordenen Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln. 1681 siedelte er nach Hamburg über, woselbst er am 11. Mai 1686 starb.*

Als ich Betrachtungen über die Unermefslichkeit des Raumes anstellte und darüber, dafs derselbe durchaus überall vorhanden sein müsse, dachte ich mir folgenden Versuch aus:

Ein Wein- oder Bierfafs werde mit Wasser gefüllt und von allen Seiten wohl verstopft, sodafs die äufsere Luft nicht eindringen kann. Am unteren Teile des Fasses werde eine Röhre von Metall angebracht, mit deren Hilfe man das Wasser herausziehen kann; das Wasser mufs dann vermöge seiner Schwere herabsinken und wird über sich im Fasse einen von Luft [und infolgedessen von jedem Körper] leeren Raum zurücklassen.

1) Aus dem Lateinischen übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von Friedrich Dannemann. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894 (59. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften).



Damit nun der Erfolg dieser Überlegung entspräche, richtete ich mir eine Messingspritze her, wie man sie bei Bränden benutzt, mit Stempel und Kolben, der genau gearbeitet war [sodafs die Luft keinen Platz fand, zu den Seiten desselben ein- oder auszutreten]. An der Spritze wurden ferner zwei Ventile aus Leder angebracht, von welchen das innere im Deckel der Spritze den Eintritt des Wassers, das äufsere den Abflufs vermitteln sollte. Nach Befestigung der Spritze [vermittelst eines eisernen mit vier Bändern versehenen Ringes] am unteren Teile des Fasses, versuchte ich das Wasser herauszuziehen. Zuerst rissen aber die Bänder und die eisernen Schrauben, vermittelst deren die Spritze an dem Fasse befestigt war, eher als dafs das Wasser dem Kolben gefolgt wäre.

Das Bemühen war aber keineswegs aussichtslos. Nachdem Abhilfe durch Anbringung stärkerer Schrauben getroffen war, vermochten endlich drei starke Männer, welche an dem Stempel der Spritze zogen, das nachfolgende Wasser durch das obere Ventil herauszuschaffen. Dabei wurde aber in allen Teilen des Fasses ein Geräusch gehört, als wenn das Wasser heftig koche und dies dauerte so lange, bis das Fafs an Stelle des herausgezogenen Wassers mit Luft gefüllt war.

Diesem Übelstand mufste daher durch irgend ein Mittel abgeholfen werden. Es wurde deshalb ein kleineres Fafs beschafft und innerhalb des gröfseren angebracht. Nachdem dann das Rohr einer längeren Spritze durch die Bohlen der beiden Fässer geführt war, liefs ich jenes kleinere Fafs mit Wasser füllen, die Öffnung desselben dichten und, nachdem auch das gröfsere Fafs mit Wasser gefüllt war, die Arbeit von neuem beginnen. Jetzt gelang es, aus dem kleineren Fasse das Wasser herauszuschaffen, an dessen Stelle ohne Zweifel ein leerer Raum zurückblieb.

Als aber nach Ablauf des Tages mit der Arbeit aufgehört wurde und alles ringsum ruhig geworden war, vernahm man einen wechselnden, von Zeit zu Zeit unterbrochenen Ton, ähnlich dem eines leise zwitschernden Singvogels. Dieses dauerte fast drei volle Tage.

Als darauf die Mündung des kleineren Fasses geöffnet wurde, fand man dasselbe zum grofsen Teil mit Luft und Wasser gefüllt. Es war aber nichtsdestoweniger ein Teil leer, da während des Öffnens etwas Luft eindrang.

Alle waren von Erstaunen darüber ergriffen, dafs das Wasser in ein Fafs gelangte, welches so sorgfältig an allen Stellen verpicht und verstopft war. Ich ersah endlich aus mehrfach wieder-

holten Versuchen, dafs das unter starkem Drucke befindliche Wasser durch das Holz hindurchging und wegen der Pressung und der beim Passieren des Holzes erzeugten Reibung immer aus dem Wasser gleichzeitig etwas Luft in dem Fasse sich entwickelte. Das Fafs konnte sich aber nicht ganz mit Luft füllen wegen des Widerstandes, den das Holz dem Durchgange entgegensetzte. Mit dem Aufhören des Druckes hatte daher auch das Eindringen von Wasser und Luft ein Ende. Daher erhielt man ein gleichsam nur zur Hälfte evakuiertes Fafs.

Nachdem die Porosität des Holzes sowohl durch den Augenschein als durch den Versuch selbst erwiesen war, schien mir für mein Vorhaben eine kupferne Kugel geeigneter zu sein. Dieselbe fafste 60 bis 70 Magdeburger Mafs und wurde oben mit einem Messinghahn versehen, unten dagegen an der Spritze angebracht und mit derselben wohl verbunden. Darauf unternahm ich es, wie vorher Wasser und ebenso Luft herauszuziehen.

Anfangs liefs sich der Stempel leicht bewegen, bald wurde dies aber immer schwieriger, sodafs zwei kräftige Männer kaum imstande waren, den Stempel herauszuziehen. Während sie noch mit dem Ein- und Ausziehen desselben beschäftigt waren und schon glaubten, es sei nahezu alle Luft herausgeschafft, wurde die Metallkugel plötzlich mit lautem Knall und zu aller Schrecken so zerdrückt, wie man ein Tuch zwischen den Fingern zusammenballt, oder als ob die Kugel von der äufsersten Spitze eines Turmes mit heftigem Aufprall herabgeworfen worden wäre.

Ich schrieb die Ursache einer Unachtsamkeit des Handwerkers zu, der die Kugel vielleicht nicht genau zirkelrund gearbeitet hatte. Die flache Stelle, wo sie sich nun auch befunden haben mag, konnte den Druck der umgebenden Luft nicht aushalten, während dies dagegen eine genau gearbeitete Kugel der Übereinstimmung der Teile halber, welche sich gegenseitig beim Widerstandleisten unterstützen, leicht vermocht hätte. Es war also durchaus nötig, dafs der Metallarbeiter eine vollkommen runde Kugel herstellte, aus der die Luft ebenfalls im Beginne leicht, gegen das Ende mit Mühe herausgepumpt wurde.

Als Beweis aber, dafs die Kugel vollständig evakuiert sei, diente der Umstand, dafs ein Entweichen von Luft aus dem oberen Ventil der Spritze endlich nicht mehr stattfand.

So wurde also zum zweiten Male ein leerer Raum erhalten.

Nach Öffnung des Hahnes drang die Luft mit solcher Kraft in die kupferne Kugel, als wollte dieselbe einen davorstehenden

Menschen gleichsam an sich reifsen. Brachte man das Gesicht in ziemliche Entfernung, so wurde einem der Atem benommen, ja man konnte die Hand nicht über den Hahn halten, ohne sich der Gefahr auszusetzen, dafs sie mit Heftigkeit herangezogen wurde.

Da die Luft als ein aufserordentlich feiner Körper alle Öffnungen und Zwischenräume, so klein sie auch sein mögen, unglaublich schnell durchdringt und ausfüllt, und immer etwas Luft zu den Seiten des Kolbens sowohl als der Ventile unvermerkt hindurchgeht; da es ferner nicht möglich ist, Stempel und Ventil so vollkommen herzustellen, dafs sie jedem Eindringen der Luft widerstehen, baute ich mehrere Maschinen [so traf ich die Einrichtung, dafs die Luftpumpe sowohl unten als oben mit Wasser umgeben werden konnte], welche Pater Kaspar Schott[1]) zum ersten Male in seiner „Ars Hydraulico-pneumatica“ und darauf im ersten Buche seiner „Technica curiosa“, welches „von den Magdeburgischen Wunderdingen“ betitelt ist, beschrieb.

Da aber diese Maschinen schwer zu transportieren waren und mein allergnädigster Herr, der Kurfürst von Brandenburg, meine Versuche zu sehen wünschte, so habe ich den nachstehend beschriebenen Apparat hergerichtet.

1. Man lasse einen eisernen Dreifufs a b c d f (Fig. 6) von etwa 2 Ellen Höhe schmieden, dessen Füfse oben an einem eisernen Ringe b c, unten aber an dem Pflaster vermittelst der eisernen Schrauben a f d zu befestigen sind.

2. Als Luftpumpe g h (Fig. 6, III) benutze man eine Messingspritze, wie sie im 2. Kapitel beschrieben wurde, und zwar sei dieselbe oben von einem Bleiringe y umgeben.

3. An diesem oberen Teile y werde ein Messingdeckel m n (Fig. 6, IV), versehen mit einer Röhre n, in welche die leer zu pumpenden Gefäfse mit ihren Hähnen hineingesteckt werden können, vermittelst drei Schrauben befestigt. Vorher werde aber ein lederner Ring dazwischen gelegt.

4. Dieser Deckel sei auf seiner inneren und unteren Seite in der Mitte mit einem Lederventil versehen, wie es in Abbildung V, Fig. 6 dargestellt wurde, sodafs der Kolben h mit seinem Stempel f beim Herabdrücken die Luft oder das Wasser

---

1) Der Jesuit Kaspar Schott (1608—1666) war Professor der Mathematik in Würzburg, woselbst er im Auftrage des Kurfürsten von Mainz mit den von Guericke zur Verfügung gestellten Apparaten die „Magdeburgischen Versuche“ wiederholte.



aus den zu entleerenden Gefäfsen in die Pumpe g h ziehen und beim Emporheben durch das äufsere Ventil z (Fig. 6, IV) herausbefördern kann.

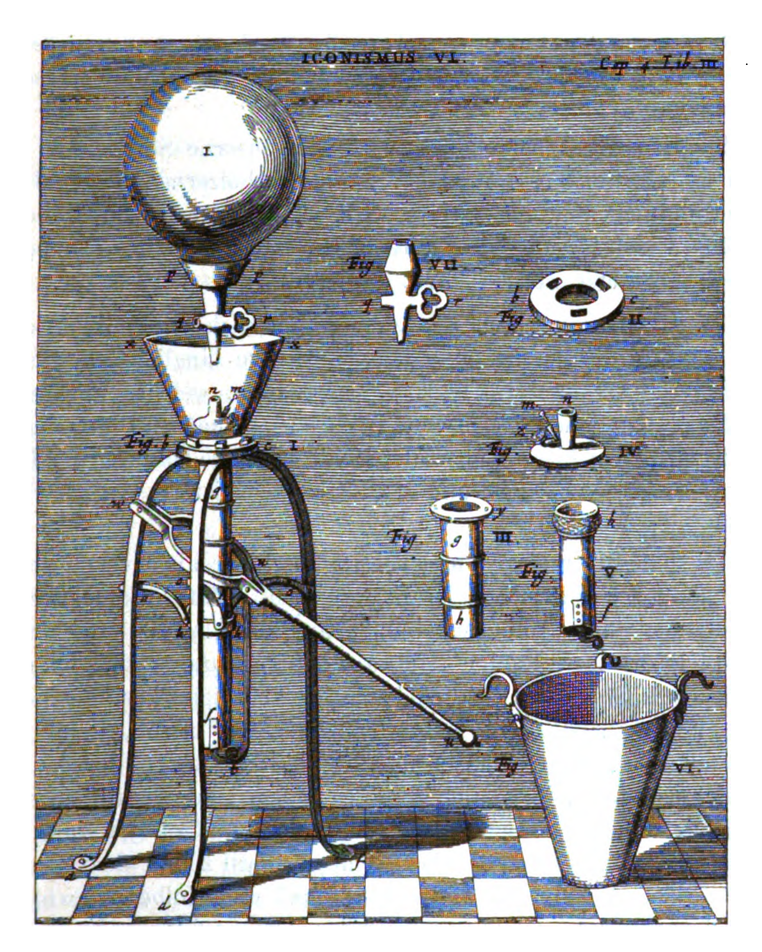



Fig. 6 (Guerickes Luftpumpe).

5. An dem aus Blei hergestellten Rande der Luftpumpe werde ein kupfernes Gefäfs x x zum Eingiefsen von Wasser angebracht.

6. Die Pumpe y g h (Fig. 6, III) wird zugleich mit diesem daran angebrachten Gefäfse in den Dreifufs gesetzt, indem man sie durch die Öffnung e des erwähnten eisernen Ringes b c (Fig. 6, II) steckt und sie dann an jenem aus Blei hergestellten Rande mit drei eisernen Schrauben befestigt.

7. Damit sich nun die Pumpe an ihrem unteren Ende nicht bewege, wird auch dort ein eiserner Ring k k (Fig. 6, I) befestigt, an dem sich drei Arme o o o befinden, welche den Dreifufs zusammenhalten.

8. An einem Fufse des Gestells wird in w ein eiserner Hebel w u u angebracht, der um den Stift w gehoben und gesenkt werden kann.

9. Mit dem Hebel endlich wird eine eiserne Stange u t verbunden, welche in t mit dem erwähnten hölzernen Stempel f h in Verbindung steht. Letzterer wird mit dem massiven Kolben h versehen, sodafs mit Hilfe dieser Einrichtungen die Pumpe in Bewegung gesetzt werden kann.

10. Damit von unten und zu den Seiten des Kolbens h keine Spur Luft in die Pumpe eindringe, werde ein längliches kupfernes Gefäfs, eine Art Kessel (Fig. 6, VI) hergestellt, welches mit seinen drei Haken an jenen drei Armen o o o aufgehängt und mit Wasser gefüllt wird. Auf diese Weise läfst sich die untere Öffnung der Luftpumpe, sowie der Stempel und alles Zubehör mittelst Wasser dicht halten.

11. Jedes Herausziehen der Luft geschieht aber vermöge der Expansiv- oder elastischen Kraft derselben, sodafs infolge der Bewegung der Pumpe die Luft immer aus dem leer zu machenden Gefäfse in die leere Pumpe tritt, aus der sie dann nach und nach herausgeschafft wird. Schliefslich wird aber jene geringe Menge Luft, welche in dem zu entleerenden Gefäfse bleibt, keine hinreichende Elasticität mehr besitzen, um das Leder der Ventile [welche meist mit Federn aus Metall versehen sind, damit sie stets gut schliefsen] zu öffnen. Aus diesem Grunde kann man im Deckel z m n der Pumpe zwischen dem Ventil z und dem Rohr n ein Röhrchen anbringen, das mit Stempel und Kolben, sowie mit einer Hervorragung versehen ist, und mit dessen Hilfe das innere Ventil kunstvoll geöffnet und geschlossen werden kann. Infolgedessen kann jene Spur Luft, von der man annimmt, dafs sie zurückbleibe, zuletzt ohne Schwierigkeit in die Pumpe hinabgelangen.

Aus der Beschreibung dieser Maschine geht deutlich hervor, dafs mit Hilfe derselben ein Vakuum geschaffen und jene Schwierigkeit, die sonst für unüberwindlich galt, gelöst werden kann. Wenn nämlich der Hebel w u u gehoben wird, so berührt der Kolben h den Deckel m n, und die Pumpe ist von ihrem Stempel ausgefüllt;

wird derselbe nun herabgedrückt, so entsteht im Innern der Pumpe ein leerer Raum. In diesem verbreitet sich die Luft des angewandten Gefäfses, wodurch dasselbe schliefslich leer gemacht wird.

## Versuche, welche den Druck der Atmosphäre darthun[1]).

*Als Guericke eines Tages den entleerten Recipienten auf dem Tische stehen hatte und in denselben mittelst einer Röhre Wasser aus einem Kübel steigen liefs, der am Boden des Zimmers stand, kam er auf den Gedanken, wie weit wohl der Recipient von der Erde entfernt werden könne. Er berichtet darüber folgendermafsen:*

Da mir dies noch unbekannt war, ich aber doch nicht annehmen konnte, dafs das Gefäfs bis zu beliebiger Höhe das Wasser emporziehe, versäumte ich nicht, darüber Untersuchungen anzustellen. Ich liefs die Röhre verlängern, sodafs sie aus dem mittleren Stockwerk durch das Fenster geführt, den Boden des Hofes berührte. Nachdem dann ein Gefäfs voll Wasser darunter gesetzt war, verfuhr ich in gleicher Weise. Ich sah dieselbe Erscheinung eintreten. Das Wasser stieg nämlich seiner Schwere entgegen nichtsdestoweniger in das entleerte Gefäfs empor.

Daraus ergab sich die Notwendigkeit, nicht nur den Apparat in das dritte Stockwerk zu bringen, sondern auch eine längere Röhre anzuwenden. Als dies geschehen war, ging die Sache nichtsdestoweniger in derselben Weise vor sich. Das Wasser stieg bis zum dritten Stock, wenn auch nicht so reichlich wie vorher. Ich begab mich deshalb in den vierten Stock des Hauses, und nachdem alle Vorbereitungen getroffen waren, wiederholte ich den früheren Versuch. Jetzt nahm ich wahr, dafs kein Wasser mehr in das Gefäfs gelangte, sondern dafs es vielmehr in der Röhre hängen blieb.

*Figur 7, welche eine Wiedergabe der X. Tafel des Guerickeschen Werkes ist, enthält auf der rechten Seite die Darstellung dieses Versuchs. nm ist der Kübel, i der Recipient, bg die aus vier Stücken zusammengesetzte Röhre. Jedes Stück besafs am oberen Ende eine napfförmige Erweiterung, in welche nach dem Zusammenfügen zum besseren Abdichten Wasser gegossen wurde.*

1) Otto von Guerickes neue „Magdeburgische“ Versuche. Kapitel XIX, XX, XXIII, XXVIII (gekürzt und mit verbindendem Text).





Weil aber so die Steighöhe nicht ermittelt werden konnte, war es nötig, an der Stelle, wo sich das in der Schwebe befind-

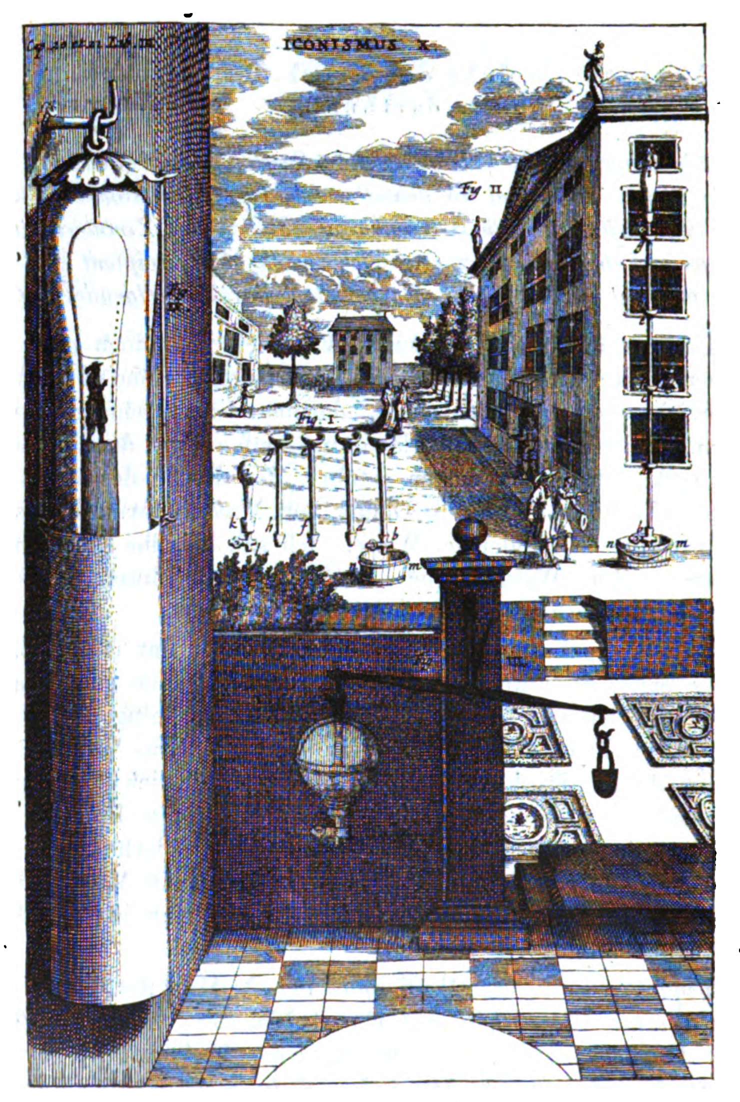



Fig. 7 (Guerickes Wasserbarometer).

liche Wasser vermuten liefs, eine Glasröhre vermittelst Kitt gut schliefsend einzuschalten und den Versuch zum vierten Male anzustellen. Als darauf der Schlüssel des Hahnes gedreht wurde, sah

ich das Wasser ohne Verzug eindringen, einige Male in der Glasröhre auf- und niederschwanken, endlich aber zur Ruhe kommen. Jetzt liefs sich die Stelle, bis zu welcher das Wasser vorher gestiegen war, feststellen. Ich merkte mir dieselbe an und liefs von hier ein Senkblei bis zum Boden des Hofes hinab, dessen Länge ich mafs und ungefähr gleich 19 Magdeburger Ellen fand.

Obschon ich nicht unterliefs, diesen Versuch noch verschiedene Male in derselben Weise zu wiederholen und nachzumessen, sah ich dennoch das Wasser immer dieselbe Höhe innehalten. Als aber dies Beginnen einige Tage unterbrochen wurde, nahm ich auch von einem zum anderen Tage eine gewisse Veränderung wahr. Mitunter nämlich stand das Wasser eine, zwei oder drei Handbreit höher, bisweilen um so viel tiefer.

Aus diesem Versuch, der sich mir unerwartet darbot, konnte ich nichts anderes schliefsen, als dafs der sogenannte Abscheu vor dem leeren Raum in dem Druck der atmosphärischen Luft bestehe, welcher das Wasser, wo sich ein leerer Raum bietet, dazu drängt, in diesen hineinzutreten und ihn einzunehmen, und zwar so hoch, als diesem Druck entspricht.

Wenn nämlich das Emporsteigen infolge des Abscheus vor dem leeren Raum geschähe, so müfste das Wasser entweder bis zu beliebiger Höhe unbegrenzt dem Vakuum folgen oder immer in ein und derselben Höhe stehen bleiben. Dafs aber die Höhe sich ändert, ist das sicherste Anzeichen, dafs nicht nur das Emporsteigen des Wassers, sondern auch die Schwankungen desselben von einer äufseren Ursache herrühren.

Die Höhe des Wassers in der Röhre hängt daher nicht von dem Abscheu der Natur vor dem leeren Raum, sondern von dem Gleichgewicht zwischen der Wassersäule und dem Luftdruck ab.

*Fortgesetzte Beobachtungen an diesem Apparat führten Guericke dazu, einen Zusammenhang zwischen den Schwankungen der Wassersäule und dem Wetter zu entdecken. Um erstere besser verfolgen zu können, hatte er eine aus Holz geschnitzte Figur in der Flüssigkeit angebracht, welche mit derselben auf- und niederstieg und dabei auf eine an der Röhre angebrachte Skala von Punkten wies (Fig. 7, I).*

*Über eine Wetterprognose berichtet er an seinen Freund Kaspar Schott mit folgenden Worten:*

Ich habe mit Bestimmtheit, als im vergangenen Jahre 1660 jener ungeheuere Sturm stattfand, auf Grund des soeben erwähnten Versuches eine besondere, aufserordentliche Veränderung der Luft

5*

wahrgenommen. Dieselbe war so leicht im Vergleich zu sonst geworden, dafs der Finger des Männchens sogar unter den äufsersten an der Glasröhre angebrachten Punkt herabstieg. Als ich dies sah, teilte ich den Umstehenden mit, es sei ohne Zweifel irgendwo ein grofses Unwetter ausgebrochen, und kaum waren zwei Stunden verflossen, als jener Orkan auch in unsere Gegend einbrach, wenn er auch nicht so heftig auftrat als auf dem Meere.

*Auf Grund der von ihm entdeckten Thatsache, dafs eine Luftsäule denselben Druck ausübt wie eine 19 Magdeburger Ellen (10 m) hohe Wassersäule von gleicher Grundfläche, zeigt Guericke (Kapitel XXII), wie man durch Rechnung den Druck jedes beliebigen Luftcylinders ermitteln kann. Als Beispiel wählt er den Fall, dafs der Durchmesser des Cylinders ²/₃ Ellen beträgt und findet dafür 2687 Pfund. Um diesen aufserordentlichen Druck seinen Zeitgenossen in recht augenfälliger Weise zu demonstrieren, stellt er folgenden Versuch an:*

Ich liefs zwei Halbkugeln aus Kupfer von ungefähr ²/₃ Magdeburger Ellen Durchmesser herrichten. Dieselben pafsten gut aufeinander, und zwar war die eine mit einem Ventil versehen, mit dessen Hülfe die im Innern befindliche Luft herausgezogen werden konnte. Die Schalen seien aufserdem mit eisernen Ringen versehen, damit Pferde daran gespannt werden können. Ferner liefs ich einen Ring aus Leder zusammennähen, der gut mit Wachs (gemischt mit Terpentinöl) durchtränkt wurde, sodafs er keine Luft durchliefs.

Diese Schalen habe ich, nachdem jener Ring dazwischen gebracht war, aufeinander gelegt und darauf die Luft schnell herausgepumpt. Ich sah, mit welcher Kraft die beiden Schalen, zwischen denen sich jener Ring befand, vereinigt wurden. Von dem Druck der äufseren Luft zusammengeprefst, waren sie so fest verbunden, dafs sechzehn Pferde sie nicht oder nur schwierig voneinander reifsen konnten. Gelang es aber endlich, mit Aufbietung aller Kraft, sie zu trennen, so verursachte dies ein Geräusch wie ein Büchsenschufs.

Sobald aber durch Öffnen des Hahnes der Luft Zutritt gegeben wird, können sie schon mit den Händen getrennt oder voneinander gerissen werden.

*Über die Ursache des Luftdruckes äufsert sich Guericke mit folgenden Worten:*

Einige glauben, er rühre von dem Triebe gegen das Centrum her (wohin, wie sie meinen, alles strebe). Andere dagegen verlegen

die Ursache in die von allen Seiten kommenden und einen Druck ausübenden Strahlen der Sterne.

Weshalb aber soll man den einzelnen Dingen den Trieb und die Natur, nach dem Centrum zu streben, beilegen und nicht vielmehr der Erde und ihrer anziehenden Kraft? Ferner kann die Kraft, welche die Luft zusammendrückt, keineswegs von den oberen Regionen ausgehen. Rührte sie nämlich von den Sternen her, so müfste auch die Erdkugel, als ein im Wege stehender Körper, diesen Druck empfangen und ihm Widerstand leisten.

Wenn aber zwei Körper gegeneinander drücken, so wird ein zwischen ihnen befindlicher Gegenstand von beiden Seiten denselben Druck erleiden. Daraus würde notwendig folgen, dafs die unteren Teile der Luft in gleichem Mafse gedrückt werden wie die oberen, was aber durch die Versuche widerlegt wird.

Da nun die untere Luft stärker zusammengedrückt ist als die obere, und man dies nicht nur auf hohen Bergen, sondern schon auf den Türmen der Kirchen wahrnimmt[1]), so folgt daraus, dafs die Luft sich nicht weit von der Oberfläche der Erde erstreckt, sondern im Hinblick auf die grofse Entfernung der Sterne ihre Höhe nur gering sein kann.

# 14. Newton erforscht die Natur des Sonnenlichts. 1670.

## Abschnitte aus Newtons Optik[2]).

*Isaac Newton wurde am 5. Januar 1643 in Woolsthorpe geboren und bezog im 18. Lebensjahre die Universität Cambridge, an welcher er 1669 Professor der Mathematik ward. Newton hat durch einzigartige Untersuchungen auf den Gebieten der Physik, Astronomie und Mathematik seinen Namen unsterblich gemacht.*

---

1) Pascal hatte dies aus der Verkürzung der Quecksilbersäule des Barometers gefolgert (Siehe 12, S. 58), Guericke verschlofs einen Recipienten am Fufse eines Kirchturms und begab sich damit auf die Spitze desselben. Wurde der Hahn jetzt gedreht, so trat Luft aus; während die Luft in den Recipienten hineindrang, wenn man ihn auf der Spitze des Turmes verschlofs und am Fufse wieder öffnete. Guericke, De vacuo spatio, III. Buch, 30. Kap.

2) Nach Opticks or a treatise of the reflections, refractions and colours of light by Sir Isaac Newton, Third Edition, London 1721, First book, Part. I, Prop. II, Theor. II, übersetzt von Friedrich Dannemann.

*Seit 1666 beschäftigte er sich mit Forschungen über die Natur des Lichtes, deren Resultate in der 1704 erschienenen „Optik“ zusammenhängend dargestellt wurden. Nachstehend sind einige hervorragend wichtige experimentelle Abschnitte derselben in der Übersetzung wiedergegeben. Newtons Theorie vom Lichte, die sogenannte Emanationstheorie, erwies sich gegenüber der Wellentheorie von Huyghens (Siehe* **16**) *als unhaltbar, wennschon die letztere im 18. Jahrhundert nur vereinzelte Verfechter fand (Siehe* **26**) *und erst im Beginn des 19. Jahrhunderts zur vollen Anerkennung gelangte. 1668 verfertigte Newton sein Spiegelteleskop; 1682 entdeckte er das Gravitationsgesetz; 1687 erschien sein Hauptwerk, die „Prinzipien der Naturwissenschaft“. Fast gleichzeitig mit Leibniz erfand Newton ferner die Differential- und Integralrechnung. Er starb am 20. März 1727 und wurde unter grofsen Ehrenbezeugungen in der Westminsterabtei beigesetzt.*

## A. Das Sonnenlicht besteht aus Strahlen verschiedener Brechbarkeit.

In einem sehr dunklen Zimmer brachte ich hinter einer runden in dem Fensterladen befindlichen Öffnung von $^1/_3$ Zoll Durchmesser ein Glasprisma an. Letzteres sollte den Lichtstrahl, der durch die Öffnung eindrang, ablenken, ihn aufwärts nach der gegenüberliegenden Wand des Zimmers werfen und dort ein buntes Bild der Sonne erzeugen. Die Axe des Prismas, das heifst die durch die Mitte des Prismas von einem Ende zum anderen parallel der brechenden Kante verlaufende Linie, befand sich in diesem und den folgenden Versuchen in senkrechter Stellung zu den einfallenden Lichtstrahlen. Um diese Axe drehte ich das Prisma langsam und sah dabei das farbige Sonnenbild zuerst hinab- und dann wieder hinaufsteigen. Zwischen der Ab- und Aufwärtsbewegung, in dem Augenblicke, wo das Bild stille zu stehen schien, stellte ich das Prisma fest[1]). Nun liefs ich das gebrochene Licht senkrecht auf einen Bogen weifses Papier fallen, der auf der gegenüberliegenden Wand des Zimmers angebracht war, und beobachtete Gestalt und Gröfse des dort entstandenen Sonnenbildes. Dasselbe war langgezogen und von 2 geradlinigen parallelen Linien begrenzt; die Enden waren halbkreisförmig. Seitlich war es recht scharf begrenzt, an

[1]) Es war dies also die Stellung, in welcher das Minimum der Ablenkung stattfand.



den Enden jedoch verschwommen und undeutlich, indem das Licht dort allmählich bis zum gänzlichen Verschwinden abnahm.

EG sei der Fensterladen, F die darin angebrachte Öffnung, durch welche ein Lichtstrahl in das verdunkelte Zimmer eintritt. ABC sei das Prisma, dessen eines Ende gerade dem Auge des Beschauers zugekehrt ist. XY möge die Sonne vorstellen, MN das Papier, auf welches das Sonnenbild oder Spektrum geworfen wird, PT dieses Bild selbst, dessen Seiten v und w parallele Grade und

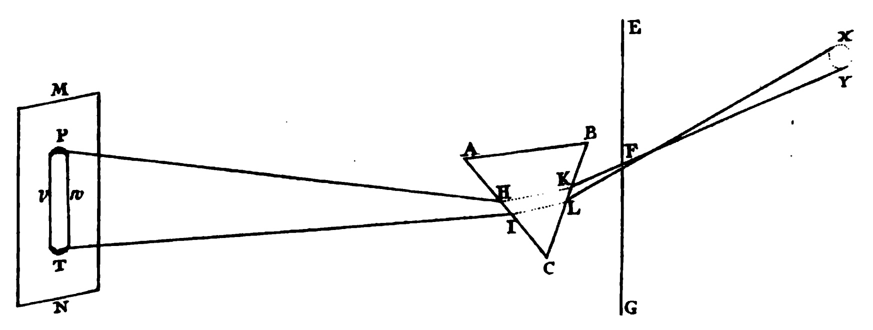



Fig. 8 (Newtons Optik, I, Taf. III, Fig. 13).

dessen Enden halbkreisförmig sind. YKHP und XLIT sind zwei Strahlen, von denen der erstere vom unteren Rande der Sonne zum oberen Teil des Bildes geht und innerhalb des Prismas bei K und H gebrochen wird. Der zweite dagegen geht vom oberen Sonnenrande zum unteren Teile des Bildes und wird in L und I gebrochen. Wären die beiden Strahlen XLIT und YKHP sowie alle übrigen, welche das Spektrum Pw Tv bilden, in gleichem Mafse brechbar, so würde dasselbe rund sein. Da nun das Experiment zeigt, dafs das Sonnenbild nicht rund, sondern etwa 5mal so lang als breit ist, so müssen die Lichtstrahlen, welche zum oberen Teile P gelangen, also am stärksten abgelenkt werden, in höherem Grade brechbar sein als diejenigen, die zum unteren Ende T gehen.

Das Spektrum PT war farbig und zwar rot in seinem am wenigsten gebrochenen Ende T, violett dagegen in dem am stärksten abgelenkten Ende P. Der dazwischen befindliche Raum war gelb, grün und blau. Dies entspricht auch einem früher von mir nachgewiesenen Gesetz, dafs nämlich Lichtstrahlen verschiedener Farbe in verschiedenem Grade brechbar sind.

In der Mitte zweier dünner Bretter machte ich nun runde Öffnungen von 1/3 Zoll Durchmesser und in dem Fensterladen eine weit

gröfsere Öffnung, durch welche in mein verdunkeltes Zimmer ein voller Strahl des Sonnenlichts eindrang. Hinter dem Laden brachte ich ein Prisma in den Weg dieses Lichtstrahls, das denselben nach der gegenüberliegenden Wand hin brechen sollte. Dicht hinter dem Prisma aber befestigte ich das eine Brett dergestalt, dafs nur ein Teil des gebrochenen Lichtes durch die in dem Brette angebrachte Öffnung hindurchgehen konnte, während der Rest aufgefangen wurde. Zwölf Fufs von diesem ersten Brette entfernt befestigte ich darauf das zweite Brett so, dafs wieder nur ein Teil des gebrochenen Lichts, welches durch die erste Öffnung gelangte, durch das Loch in jenem zweiten Brette gelangen konnte, während der übrige Teil von demselben aufgefangen wurde und darauf das farbige Spektrum der Sonne entstehen liefs. Unmittelbar hinter dem zweiten Brett brachte ich dann ein anderes Prisma an, welches das die Öffnung passierende Licht ablenken sollte. Indem ich nun das erste Prisma langsam um seine Axe hin und her drehte, bewirkte ich, dafs das Spektrum auf dem zweiten Brett sich auf- und abbewegte, sodafs alle Teile desselben nacheinander durch das Loch in jenem Brette gelangen und auf das Prisma hinter demselben fallen mufsten. Gleichzeitig merkte ich die Stellen auf der

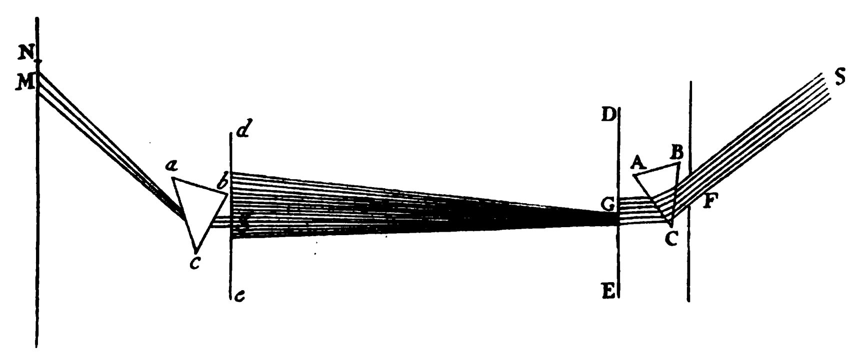



Fig. 9 (Newtons Optik, I, Taf. IV, Fig. 18).

gegenüberliegenden Wand an, auf welche die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch das zweite Prisma gelangten. Aus der verschiedenen Höhe dieser Stellen fand ich, dafs die Strahlen stärkster Brechbarkeit, welche den blauen Teil des Spektrums bildeten, auch im zweiten Prisma stärker gebrochen wurden als das rote Licht.

F sei die Öffnung in dem Fensterladen, durch welche die Sonne auf das erste Prisma ABC scheint. Nach der Brechung

fällt das Licht auf die Mitte des Brettes DE, und ein Teil dieses Lichtbündels tritt durch die Öffnung G, die sich in der Mitte dieses Brettes befindet. Den hindurchgetretenen Teil des Lichtes lasse man wieder auf die Mitte des zweiten Brettes de fallen und dort ein derartiges längliches Spektrum hervorrufen, wie wir es weiter oben beschrieben haben. Dreht man jetzt das Prisma ABC langsam um seine Axe hin und her, so wird dieses Bild sich auf dem Brette de auf- und ab bewegen und auf diese Weise werden alle Teile des Spektrums veranlafst, nacheinander durch die Öffnung g zu treten, welche sich in der Mitte jenes Brettes befindet. Inzwischen wird ein anderes Prisma abc unmittelbar hinter der Öffnung g angebracht, um den hindurchgefallenen Lichtstrahl zum zweiten Male zu brechen. Nachdem diese Anordnungen getroffen waren, merkte ich mir die Stellen M und N der gegenüberliegenden Wand, auf welche der gebrochene Strahl fiel. Ich fand, dafs wenn die beiden Bretter und das zweite Prisma unverrückt blieben, jene Stellen bei der Drehung des ersten Prismas sich fortwährend änderten. Trat nämlich der untere Teil des Lichtes, das zu dem zweiten Brett de gelangte, durch die Öffnung g, so gelangte es zu einer tieferen Stelle M der Wand. Wurde dagegen der obere Teil des Spektrums durch dieselbe Öffnung g geworfen, so gelangte der Strahl zu der höheren Stelle N. Ein dazwischen befindlicher Teil des Spektrums endlich fiel nach dem Passieren der Öffnung zwischen den Stellen M und N auf die Wand. Die unveränderte Lage der Öffnungen in den Brettern bedingte, dafs der Einfallswinkel für das Prisma in allen Fällen derselbe blieb. Dennoch wurden bei gleichem Einfallswinkel die einen Strahlen mehr gebrochen als die anderen, und zwar wurden diejenigen stärker gebrochen, die auch in dem ersten Prisma mehr aus ihrer Richtung abgelenkt worden waren. Dieselben werden daher, weil sie beständig stärker abgelenkt werden, passend als Strahlen gröfserer Brechbarkeit bezeichnet.

### B. Durch Mischung farbigen Lichtes einen Strahl zusammenzusetzen, der in seinen Eigenschaften mit dem direkten Sonnenlichte übereinstimmt.

ABC abc in nachstehender Figur stellt ein Prisma vor, welches das in ein dunkles Zimmer fallende Sonnenlicht so bricht, dafs es auf die Linse MN fällt und darauf bei pqrst die

bekannten Spektralfarben erzeugt. Die divergierenden Strahlen werden dann vermöge der Brechung dieser Linse nach X gelangen und daselbst durch Mischung sämtlicher Farben einen weifsen Lichtstrahl zusammensetzen.

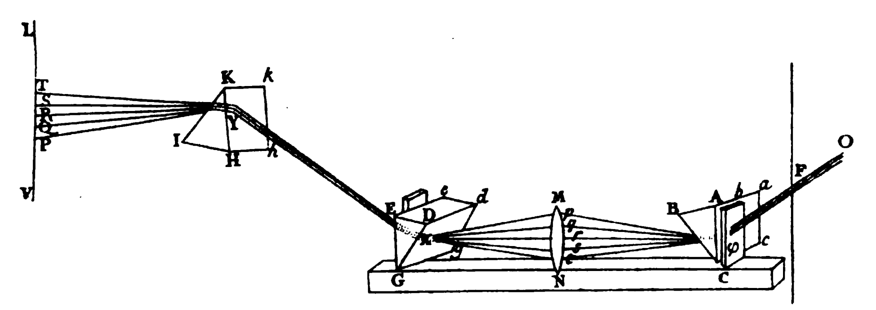


Fig. 10 (Newtons Optik, II, Taf. IV, Fig. 16).

Darauf werde ein zweites Prisma DEG deg parallel dem ersten in X aufgestellt, um das weifse Licht aufwärts nach Y zu brechen. Der Brechungswinkel der Prismen und ihre Abstände von der Linse seien gleich, so dafs die Strahlen, welche nach X konvergieren und ohne eine dort stattfindende Brechung sich daselbst schneiden und hierauf divergieren würden, durch die Brechung des zweiten Prismas parallel gemacht werden. Ist letzteres der Fall, so werden diese Strahlen wieder einen weifsen Lichtstrahl zusammensetzen, und man kann sämtliche Versuche mit diesem zusammengesetzten Strahl XY anstellen, die im direkten Sonnenlichte gemacht wurden. Durch Auffangen irgend einer Spektralfarbe p q r s t vor der Linse läfst sich zeigen, dafs die durch Versuche mit dem Strahl X *Y* erzeugten Farben keine anderen sind als diejenigen, welche den Strahlen vor der Linse, aus denen X Y zusammengesetzt wurde, entsprechen. Daraus ist ersichtlich, dafs die Farben nicht durch irgend eine infolge der Brechung und Reflexion bewirkte Veränderung des Lichtes sich erst bilden, sondern aus der verschiedenartigen Trennung und Zusammensetzung von Strahlen hervorgehen, von denen jeder ein bestimmtes ursprüngliches Vermögen, eine gewisse Farbe hervorzurufen, besitzt. So unterwarf ich den zusammengesetzten Strahl XY vermittelst eines anderen Prismas HIK kh der Brechung und erhielt dadurch die bekannten Spektralfarben PQRST auf dem hinter dem Prisma angebrachten Papier LV. Wenn ich nun irgend eine der Farben pqrst bei der Linse auffing, so ver-

schwand jedesmal dieselbe Farbe auf dem Papier. Fängt man z. B. das Grün vor der Linse auf, so verschwindet auch das Grün auf dem Papier, und ebenso verhält es sich im übrigen. Dies zeigt deutlich, dafs nicht nur der weifse Strahl XY aus den verschiedenen farbigen Strahlen, welche in die Linse eintreten, zusammengesetzt ist, sondern dafs auch die Farben, welche später infolge einer neuen Brechung auftreten, keine anderen sind als diejenigen, welche zur Entstehung von XY beigetragen haben. Das Prisma HIKkh erzeugt also die Farben PQRST auf dem Papier nicht durch eine Veränderung der Beschaffenheit der Strahlen, sondern dadurch, dafs es die Strahlen wieder von einander trennt, ohne Einflufs auf die Eigenschaften, welche sie besafsen, bevor sie an der Bildung des gebrochenen weifsen Lichtstrahls XY teilnahmen.

Um die Ursache der Körperfarben zu erfahren, brachte ich Gegenstände in den Strahl XY und fand, dafs sie dort sämtlich in der ihnen eigentümlichen Farbe erschienen, die sie bei Tageslicht besitzen, und dafs die Körperfarben von den Strahlen herrühren, welche die gleiche Farbe bei der Linse besitzen, bevor sie in die Bildung des weifsen Strahls eintreten. So zeigte z. B. Zinnober in dem Lichtstrahl XY dieselbe Farbe wie im Tageslicht, und wenn man bei der Linse die grünen und blauen Strahlen auffängt, wird seine rote Farbe noch voller und lebhafter. Beseitigt man aber daselbst diejenigen Lichtstrahlen, welche die rote Farbe hervorrufen, so erscheint der Zinnober nicht mehr rot, sondern wird gelb oder grün oder von anderer Farbe, entsprechend den Strahlenarten, welche nicht aufgefangen sind. So erscheint Gold in XY gebracht von derselben Farbe, die es bei Tageslicht besitzt. Fängt man jedoch bei der Linse die gelben Strahlen auf, so erscheint das Gold so weifs wie Silber. Dies zeigt, dafs seine gelbe Farbe von den aufgefangenen Strahlen herrührt, welche dem Golde ihre Farbe verleihen, wenn sie Zutritt erhalten.

# 15. Newton entdeckt das Gravitationsgesetz. 1682.

## Geschichte der Entdeckung der Gravitation. Newtons Verfahren und die auf seine Entdeckungen gegründete Theorie. Dieselbe Ursache, welche das Fallen der Körper auf der Erde bewirkt, zwingt den Mond, sich um die Erde zu bewegen[1].

*Über Newton* *Siehe* ***14****, Seite 69.* *Newton entwickelte seine Gravitationstheorie in den „mathematischen Prinzipien der Naturwissenschaft“[2]). Dieses Hauptwerk Newtons eignet sich jedoch wenig zu einer auszugsweisen Wiedergabe. Newtons Theorie fand indessen einen beredten, wenn auch dilettantischen Verfechter in Voltaire (1694—1778), welcher 1745 einer schöngeistigen Freundin[3]) eine Schrift unter dem Titel „Elemente der Philosophie Newtons“ widmete. Nachstehend sei eines der wichtigsten Kapitel dieses Buches wiedergegeben.*

Jeder Körper fällt etwa fünfzehn Fufs in der ersten Sekunde, an welchem Orte der Erde er sich auch befinden möge. Man bemerkt ferner, dafs die Geschwindigkeit der fallenden Körper zunimmt, während sie sich der Erde nähern. Sie streben dabei alle offenbar gegen den Mittelpunkt der Erdkugel. Müssen wir deshalb nicht eine Kraft annehmen, welche sie gegen dieses Centrum treibt, und mufs diese Kraft nicht gröfser werden in dem Mafse, wie wir uns diesem Centrum nähern? Schon Kopernikus ahnte diese Idee. Keppler erfafste sie, ohne sie jedoch durchzuführen. Erst Bacon sprach es deutlich aus, dafs wahrscheinlich eine wechselseitige Anziehung zwischen den Körpern und dem Erdcentrum existiere. In seinem ausgezeichneten Werke, Novum scientiarum organum[4]), macht er den Vorschlag, man solle Versuche mit Pendeln auf den höchsten Türmen und an sehr tief gelegenen Orten anstellen. Denn, so sagt er, wenn dasselbe Pendel am Grunde eines Schachtes schneller schwingt, als auf einem Turm,

---

[1]) Voltaire, Elements de la philosophie de Newton, Amsterdam 1738 3. Teil, 3. Kapitel, übersetzt von Friedrich Dannemann aus „Oeuvres complètes de Voltaire, Bd. 31. Gotha 1786“.

[2]) Philosophiae naturalis principia mathematica, London 1687. Übersetzt von Wolfers, Berlin 1872.

[3]) Der Marquise de Châtelet.

[4]) Dasselbe erschien im Jahre 1620. Siehe **11**, S. 49.

so mufs man schliefsen, dafs die Schwere, welche die Ursache dieser Schwingungen ist, gegen das Centrum der Erde zunimmt. Er liefs auch Körper in verschiedenen Höhen fallen und untersuchte, ob sie weniger als fünfzehn Fufs in der ersten Sekunde zurücklegten. Es zeigte sich aber niemals ein Unterschied bei seinen Versuchen, da die Höhenunterschiede zu gering waren. Die Frage blieb somit unentschieden, und die Vorstellung einer vom Mittelpunkte der Erde aus wirkenden Kraft beschränkte sich auf eine blofse Vermutung.

Auch Descartes war mit dem Problem bekannt. Er spricht selbst davon, indem er die Schwere erörtert. Indes fehlte es noch an den nötigen Erfahrungen, um die grofse Frage zur Entscheidung zu bringen.

Eines Tages, es war im Jahre 1666, beobachtete Newton während eines Landaufenthalts, wie die Früchte von einem Baume fielen. Infolgedessen versank er, wie mir seine Nichte Frau Conduit erzählt hat, in Nachdenken über die Ursache, welche alle Körper zwingt, sich gegen den Mittelpunkt der Erde zu bewegen[1]).

Welches ist, so fragte er sich, diese Kraft? Sie würde auf die Frucht, die soeben vom Baume fiel, auch wirken, wenn sich dieselbe in einer Höhe von 3000, selbst 10000 Toisen befände. Wenn dem so ist, so mufs sie auch von dem Orte, wo sich die Mondkugel befindet, bis zum Centrum der Erde wirken. Und weiter mufs diese Kraft, worin sie auch bestehen möge, dieselbe sein, welche die Planeten gegen die Sonne treibt und die Monde des Jupiters um denselben gravitieren läfst. Nun ist durch alle Folgerungen, die man aus den Gesetzen Kepplers gezogen hat, bewiesen, dafs alle Weltkörper zweiter Ordnung auf den Weltkörper zustreben, der sich im Brennpunkte ihrer Bahnen befindet, und zwar in einem um so höheren Grade, je näher sie sich demselben befinden. Ein Körper, der sich an der Stelle des Mondes befindet und ein Körper in der Nähe der Erde müssen also beide auf die Erde zustreben, und zwar nach einem bestimmten Gesetz, welches eine gewisse von den Entfernungen abhängige Gröfse zum Ausdruck bringt.

---

[1]) Jemand fragte eines Tages Newton, auf welchem Wege er die Gesetze des Weltsystems entdeckt habe. Indem ich fortgesetzt darüber nachdachte, war seine Antwort. Das ist das Geheimnis aller grofsen Entdeckungen. Das wissenschaftliche Genie hängt von der intensiven und beharrlichen Aufmerksamkeit ab, deren der Kopf eines Menschen fähig ist (Anmerkung Voltaires).



Um sich also darüber Gewifsheit zu verschaffen, ob dieselbe Ursache die Planeten in ihre Bahnen zwingt, welche auf der Erde den freien Fall bewirkt, bedarf es nur der Messung. Man hat nur nötig, zu untersuchen, welchen Raum ein Körper auf der Erde und ein solcher in der Entfernung des Mondes von der Erde in einer gegebenen Zeit durchfällt. Der Mond selbst ist ein Körper, den man als gegen die Erde fallend betrachten kann, und zwar durchfällt derselbe in jedem Augenblicke das Stück, um welches er sich von der Tangente seiner Bahn entfernt. Man mufs also genau die Entfernung des Mondes von der Erde kennen, und dazu ist wieder nötig, dafs die Gröfse unserer Erdkugel bekannt ist.

Dieses waren die Überlegungen Newtons. Er hielt sich jedoch, was die Dimensionen der Erde anbetraf, an die unrichtige Schätzung der Seeleute, welche 60 englische oder 20 französische Meilen auf den Breitengrad rechneten, während man 70 rechnen mufste. Es gab damals in der That ein genaueres Mafs für die Erde: Snellius[1]) hatte dasselbe im Anfange des 17. Jahrhunderts gefunden. Auch ein englischer Mathematiker[2]) hatte im Jahre 1636 einen Grad mit hinreichender Genauigkeit gemessen und der Wahrheit entsprechend etwa gleich 70 Meilen gefunden. Diese 30 Jahre früher ausgeführte Messung war jedoch Newton ebenso unbekannt wie diejenige des Snellius. Die Bürgerkriege, welche England heimgesucht hatten, waren den Wissenschaften in gleicher Weise verhängnisvoll geworden wie dem Staat. Daher kam es, dafs das einzige genaue Mafs der Erde in Vergessenheit geraten war und man sich an jene oberflächliche Schätzung der Seeleute hielt. Auf Grund derselben wurde die Entfernung des Mondes von der Erde zu gering bestimmt, und die Werte, welche Newton fand, ergaben kein Verhältnis, weder zum reciproken Werte der Entfernungen, noch zum Quadrat derselben. Er gab daher seine Bemühungen auf, da er der Natur keinen Zwang anthun, sondern seine Vorstellungen derselben anpassen wollte.

Endlich gelang es Newton auf Grund der sehr genauen in

[1]) Snellius wurde 1591 zu Leyden geboren und starb daselbst 1621. Er ist als der Entdecker des Brechungsgesetzes bekannt. Die von ihm zwischen Bergen op Zoom und Alkmaar angestellte Gradmessung ergab den Wert von 55 072 Toisen. Es war dies die erste Messung, bei welcher die Methode der Triangulation angewandt wurde.

[2]) Norvood.



Frankreich ausgeführten Messung der Erde[1]) seine Theorie zu beweisen. Es ergab sich, dafs die Schwerkraft im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernungen wirkt; das heifst, ein Körper, welcher an der Oberfläche der Erde 100 Pfund wiegt, wird in der 10fachen Entfernung vom Mittelpunkte der Erde nur noch 1 Pfund wiegen.

Die Schwerkraft ist keineswegs das Resultat der Wirbelbewegung einer sehr feinen Materie[2]); sie wirkt nämlich auf die Körper nicht im Verhältnis ihrer Oberflächen, sondern ihrer Massen. Da ihre Wirkungen sich ferner umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten und der Fallraum auf der Erde 54000 Fufs in 60 Sekunden beträgt, so mufs ein Körper, welcher 60 Radien vom Centrum der Erde entfernt ist, in 60 Sekunden nur 15 Fufs zurücklegen[3]).

Der Mond ist nun im Mittel 60 Erdhalbmesser von uns entfernt. Aus den in Frankreich ausgeführten Messungen ergiebt sich, wie viel Fufs die Länge der Mondbahn beträgt; man weifs, dafs der Mond im Mittel 187961 Pariser Fufs in einer Minute zurücklegt.

Der Mond sei in dieser Zeit von A nach B gelangt, und zwar unter dem Einflufs der Wurfkraft, die ihn in der Richtung der Tangente von A nach C getrieben haben würde, und der Schwerkraft, die ihn zwingt, die Strecke AD = CB zurückzulegen. Denken wir uns die Kraft, welche ihn von A nach C führt, beseitigt, so würde eine Kraft übrig bleiben, deren Gröfse durch die Strecke CB ausgedrückt werden kann. Nun läfst sich berechnen, dafs, wenn die Kurve AB 187961 Fufs beträgt, die Strecke AD oder CB nur 15 Fufs lang ist. Der Mond würde somit in einer Minute 15 Fufs gefallen sein. Diese Strecke ist aber genau 3600 mal geringer als diejenige, welche ein frei fallender Körper hier auf der Erde in einer Minute zurücklegt; 3600 ist aber gerade das Quadrat seiner Entfernung.

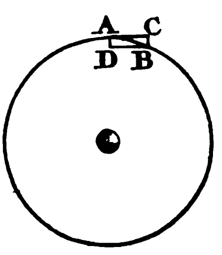


Fig. 11.

1) Gemeint ist die Gradmessung, welche Picard (1620—1682) im Jahre 1679 zwischen Amiens und Malvoisine ausführte. Sie ergab für einen Grad die Länge von 57060 Toisen.

2) Eine solche Wirbelbewegung hatte Descartes (1596—1650) zur Erklärung der Planetenbewegung angenommen.

3) In dieser Entfernung ist die Wirkung 60 mal 60 = 3600 mal geringer. 54000 : 3600 = 15.

Die Schwerkraft, welche somit dem Mond seine Bahn anweist, zwingt auch die Erde in die ihrige; ebenso sind alle übrigen Planeten ihr unterworfen. Man wird daher zugeben müssen, dafs diese Kraft es ist, welche die ganze Natur beherrscht.

## 16. Das Licht wird von Huyghens für eine Wellenbewegung des Äthers erklärt. 1678.

### Huyghens, Abhandlung über das Licht[1]).

Über die geradlinige Ausbreitung der Strahlen.

*Christian Huyghens oder Huygens, 1629 im Haag geboren, war einer der hervorragendsten Physiker und Mathematiker des 17. Jahrhunderts; er hat sich besonders durch die Erfindung der Pendeluhr und die Aufstellung der Wellentheorie des Lichtes grofse Verdienste erworben. Allerdings errang diese Theorie erst im Beginn unseres Jahrhunderts den endgültigen Sieg über die fast gleichzeitig von Newton aufgestellte Emanationstheorie. Huyghens starb im Jahre 1695.*

Man wird nicht zweifeln können, dafs das Licht in der Bewegung einer gewissen Materie besteht. Denn betrachtet man seine Erzeugung, so findet man, dafs hier auf der Erde hauptsächlich das Feuer und die Flamme dasselbe hervorrufen, welche ohne Zweifel in rascher Bewegung befindliche Körper enthalten, da sie ja zahlreiche andere sehr feste Körper auflösen und schmelzen; oder betrachtet man seine Wirkungen, so sieht man, dafs das etwa durch Hohlspiegel gesammelte Licht die Kraft hat, wie das Feuer zu erhitzen, d. h. die Teile der Körper zu trennen. Dies deutet sicherlich auf Bewegung hin, wenigstens in der wahren Philosophie, in welcher man die Ursache aller natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe zurückführt. Dies mufs man meiner

[1]) Der Titel des Originals, welches im Jahre 1690 in Leyden erschien, lautet: Traité de la lumière par Christian Huyghens. Eine erläuterte Übersetzung wurde 1890 von E. Lommel bei W. Engelmann in Leipzig herausgegeben und bildet das 20. Bändchen von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Der vorliegende Abschnitt ist eine gekürzte Wiedergabe des ersten Kapitels.



Ansicht nach thun oder völlig auf jede Hoffnung verzichten, jemals in der Physik etwas zu begreifen.

Da man nun nach dieser Philosophie für sicher hält, dafs der Gesichtssinn nur durch den Eindruck einer gewissen Bewegung eines Stoffes erregt wird, der auf die Nerven im Grunde unserer Augen wirkt, so ist dies ein weiterer Grund zu der Ansicht, dafs das Licht in einer Bewegung der zwischen uns und dem leuchtenden Körper befindlichen Materie besteht.

Wenn man ferner die aufserordentliche Geschwindigkeit, mit welcher das Licht sich nach allen Richtungen hin ausbreitet, beachtet und erwägt, dafs wenn es von verschiedenen, ja selbst von entgegengesetzten Stellen herkommt, die Strahlen sich einander durchdringen, ohne sich zu hindern, so begreift man wohl, dafs wenn wir einen leuchtenden Gegenstand sehen, dies nicht durch die Übertragung einer Materie geschehen kann, welche von diesem Objekte bis zu uns gelangt, wie etwa ein Geschofs oder ein Pfeil die Luft durchfliegt; denn dies widerstreitet doch zu sehr diesen beiden Eigenschaften des Lichtes und besonders der letzteren. Es mufs sich demnach auf eine andere Weise ausbreiten, und gerade die Kenntnis, welche wir von der Fortpflanzung des Schalles in der Luft besitzen, kann uns dazu führen, sie zu verstehen.

Wir wissen, dafs vermittelst der Luft, die ein unsichtbarer und ungreifbarer Körper ist, der Schall sich im ganzen Umkreis des Ortes, wo er erzeugt wurde, durch eine Bewegung ausbreitet, welche allmählich von einem Luftteilchen zum anderen fortschreitet, und dafs, da die Ausbreitung dieser Bewegung nach allen Seiten gleich schnell erfolgt, sich gleichsam Kugelflächen bilden müssen, welche sich immer mehr erweitern und schliefslich unser Ohr treffen. Es ist nun zweifellos, dafs auch das Licht von den leuchtenden Körpern bis zu uns durch irgend eine Bewegung gelangt, welche der dazwischen befindlichen Materie mitgeteilt wird; denn wir haben ja bereits gesehen, dafs dies durch die Fortführung eines Körpers, der etwa von dort hierher gelangt, nicht geschehen kann. Wenn nun, wie wir alsbald untersuchen werden, das Licht zu seinem Wege Zeit gebraucht, so folgt daraus, dafs diese dem Stoffe mitgeteilte Bewegung eine allmähliche ist und darum sich ebenso wie diejenige des Schalles in kugelförmigen Flächen oder Wellen ausbreitet; ich nenne sie nämlich Wellen wegen der Ähnlichkeit mit jenen, welche man im Wasser beim Hineinwerfen eines Steines sich bilden sieht, weil diese eine ebensolche allmähliche Ausbreitung in die Runde wahrnehmen lassen, obschon sie aus einer

anderen Ursache entspringen und nur in einer ebenen Fläche sich bilden.

Um nun zu erkennen, ob die Fortpflanzung des Lichtes Zeit beansprucht, untersuchen wir zuerst, ob es Versuche giebt, welche uns von dem Gegenteil überzeugen könnten. Betreffs derjenigen, welche man hier auf der Erde mit in grofsen Entfernungen aufgestellten Flammen ausführen kann, läfst sich, obwohl sie beweisen, dafs das Licht keine merkliche Zeit zum Durchlaufen dieser Entfernungen gebraucht, mit Recht behaupten, dafs diese Entfernungen zu klein sind und dafs man daraus nur schliefsen kann, die Fortpflanzung des Lichtes sei eine aufserordentlich schnelle.

*Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes wird darauf aus den im Jahre 1676 an den Jupitermonden angestellten Beobachtungen Römers abgeleitet und gleich 110 Millionen Toisen gefunden. Da eine Toise = 1,948 m ist, so würde sich nach Huyghens die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles auf 0,350, diejenige des Lichtes aber auf 214 000 km belaufen. Ersterer Wert ist zu grofs, letzterer um etwa 100 000 km zu klein.*

Der Schall legt nur 180 Toisen in einer Sekunde zurück, die Lichtgeschwindigkeit ist dagegen mehr als 600 000 mal so grofs. Eine solche Fortpflanzung ist gleichwohl etwas ganz anderes, als eine augenblickliche; denn zwischen jener und dieser besteht derselbe Unterschied wie zwischen dem Endlichen und dem Unendlichen. Da nun die allmähliche Fortpflanzung des Lichtes festgestellt ist, so folgt, wie ich schon gesagt habe, dafs es sich ebenso wie der Schall in kugelförmigen Wellen ausbreitet.

Wenn sich hierin auch beide gleichen, so unterscheiden sie sich doch in mehreren Beziehungen. Der Schall wird bekanntlich durch die plötzliche Erschütterung eines ganzen Körpers oder eines beträchtlichen Teiles hervorgebracht, welche die gesamte umgebende Luft in Bewegung setzt. Die Lichtbewegung hingegen mufs von jedem Punkte des leuchtenden Gegenstandes ausgehen, damit man alle verschiedenen Teile dieses Gegenstandes wahrnehmen könne, wie in der Folge deutlicher gezeigt werden soll. Nach meiner Meinung läfst sich diese Bewegung durch nichts besser als dadurch erklären, dafs man annimmt, die leuchtenden Körper seien aus Teilchen zusammengesetzt, welche mit einer grofsen Geschwindigkeit bewegt und gegen die umgebenden, viel kleineren Ätherteilchen gestofsen werden. Die Bewegung der Teilchen, welche das Licht erzeugen, mufs übrigens viel schneller und heftiger sein als diejenige

der Körper, welche den Schall verursachen, denn wir sehen, dafs die zitternde Bewegung eines tönenden Körpers ebensowenig imstande ist Licht zu erzeugen, wie die Bewegung der Hand in der Luft Schall hervorzubringen vermag.

Die jetzt folgende Untersuchung über das Wesen der von mir Äther genannten Materie, in welcher die von den leuchtenden Körpern kommende Bewegung sich ausbreitet, wird zeigen, dafs diese Substanz nicht dieselbe ist, wie diejenige, welche zur Ausbreitung des Schalles dient. Denn man findet, dafs die letztere nichts anderes ist als die Luft, welche wir fühlen und atmen, und dafs, wenn man sie wegnimmt, die andere dem Lichte dienende Materie noch immer zurückbleibt. Dies beweist man dadurch, dafs man einen tönenden Körper in ein Glasgefäfs einschliefst, aus welchem man sodann die Luft mit der von Boyle erfundenen und zu so vielen schönen Versuchen benutzten Luftpumpe herauszieht[1]). Wenn man das hier erwähnte Experiment anstellt, so mufs man sorgfältig darauf bedacht sein, den tönenden Körper auf Baumwolle oder Federn zu legen, sodafs er seine Erzitterungen weder dem ihn umschliefsenden Glasgefäfse, noch der Maschine mitteilen kann, was bis jetzt vernachlässigt worden ist. Denn dann wird man, wenn alle Luft ausgepumpt ist, den Klang des Metalls gar nicht hören, obgleich es angeschlagen wird.

Man ersieht hieraus nicht nur, dafs unsere Luft, die das Glas nicht durchdringt, diejenige Materie ist, durch welche der Schall sich fortpflanzt, sondern auch, dafs das Licht sich nicht etwa ebenfalls in der Luft, sondern in einer anderen Materie ausbreitet, da das Licht, selbst wenn man die Luft aus jenem Gefäfse entfernt hat, durch dasselbe ebenso wie vorher hindurchgeht.

Letzteres tritt noch deutlicher hervor bei dem berühmten Torricelli'schen Versuche[2]), wo der ganz luftleer bleibende Teil der Glasröhre, aus welcher sich das Quecksilber zurückgezogen hat, das Licht ebenso durchläfst, als wenn Luft darin ist. Dies beweist, dafs ein von der Luft verschiedener Stoff sich in der Röhre befindet.

---

[1]) Die Erfindung der Luftpumpe ist mit Unrecht oft dem Engländer Boyle (1627—1691) zugeschrieben worden. Der Ruhm dieser Erfindung gebührt unstreitig allein Otto von Guericke (siehe 13, S. 59).

[2]) Evangelista Torricelli (1608—1647). Der bekannte Versuch, welcher zur Erfindung des Barometers führte, wurde im Jahre 1643 auf Torricellis Veranlassung von seinem Freunde Viviani ausgeführt.

Was die bereits erwähnte Verschiedenheit in der Art der Fortpflanzung der Schall- und Lichtbewegung anbelangt, so kann man beim Schall den Vorgang so ziemlich verstehen, wenn man beachtet, dafs die Luft zusammengeprefst und auf einen viel geringeren Raum beschränkt werden kann, als sie gewöhnlich einnimmt, und dafs sie in dem Mafse, wie sie komprimiert ist, sich wiederum auszudehnen strebt. Dieser Umstand, in Verbindung mit ihrer Durchdringlichkeit, welche ihr trotz der Kompression verbleibt, scheint zu beweisen, dafs sie aus kleinen Körperchen gebildet wird, welche in der aus viel kleineren Teilchen zusammengesetzten Äthermaterie schwimmen und darin sehr schnell hin- und herbewegt werden. Die Ursache für die Ausbreitung der Schallwellen ist hiernach das den sich untereinander stofsenden Körperchen innewohnende Bestreben, sich wieder von einander zu entfernen, sobald sie im Umfang dieser Wellen ein wenig mehr als anderswo zusammengedrängt sind.

Die aufserordentliche Geschwindigkeit und die übrigen Eigenschaften des Lichtes würden dagegen eine solche Fortpflanzung der Bewegung nicht zulassen; und ich will nun zunächst darlegen, von welcher Art dieselbe nach meiner Ansicht sein mufs. Ich mufs zu diesem Zwecke erklären, auf welche Weise harte Körper ihre Bewegung einander mitteilen.

Nimmt man eine Anzahl gleich grofser Kugeln aus sehr hartem Material und ordnet sie in gerader Linie so an, dafs sie sich berühren, so wird, wenn eine gleiche Kugel gegen die erste derselben stöfst, die Bewegung wie in einem Augenblicke bis zur letzten gelangen, welche sich von der Reihe trennt, ohne dafs man bemerkt, dafs die übrigen sich bewegt hätten; und diejenige, welche den Stofs ausgeübt hat, bleibt sogar unbeweglich mit ihnen vereinigt[1]). Es offenbart sich also hierin ein Bewegungsübergang von aufserordentlicher Geschwindigkeit, welche umso gröfser ist, je gröfsere Härte die Substanz der Kugeln besitzt.

Dieses Fortschreiten der Bewegung geschieht aber, wie ferner feststeht, nicht augenblicklich, sondern nach und nach; es ist demnach Zeit dazu notwendig. Denn, wenn die Zeit oder, wenn man will, die Neigung zur Bewegung nicht nach und nach durch alle Kugeln ginge, so würden sie dieselbe alle zu gleicher Zeit

---

1) Der in vielen Lehrbüchern der Physik beschriebene Apparat (z. B. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, 3. Aufl., Bd. I, Fig. 66) zum Nachweis der Gesetze des Stofses wurde von Mariotte angegeben (Traité de la percussion ou choc des corps. Paris 1677).

annehmen und demnach alle zusammen vorwärts gehen; dies geschieht jedoch nicht, sondern die letzte verläfst die Reihe gänzlich und nimmt die Geschwindigkeit derjenigen an, welche gestofsen hat. Es giebt ferner Versuche, welche beweisen, dafs alle diejenigen Körper, welche wir zur Klasse der sehr harten zählen, wie gehärteter Stahl, Glas und Achat, elastisch sind und einigermafsen nachgeben, nicht nur, wenn sie zu Stäben ausgestreckt, sondern auch, wenn sie kugelförmig oder anders gestaltet sind. Dieselben werden nämlich an der Stelle, wo sie gestofsen werden, ein wenig eingedrückt und nehmen dann sogleich ihre frühere Gestalt wieder an. Ich habe nämlich gefunden, dafs, wenn ich mit einer Glas- oder Achatkugel gegen ein grofses und sehr dickes Stück desselben Stoffes schlug, welches eine ebene und mit dem Atem oder auf eine andere Weise getrübte Oberfläche hatte, darauf gröfsere oder kleinere runde Flecke zurückblieben, je nachdem der Schlag stark oder schwach war. Hieraus ersieht man, dafs diese Stoffe beim Aufeinanderstofsen nachgeben und sodann in ihre frühere Form wieder zurückgehen, wozu sie notwendigerweise Zeit gebrauchen.

Um nun diese Bewegungsart auf diejenige anzuwenden, durch welche das Licht erzeugt wird, so hindert uns nichts, die Annahme zu machen, dafs die Ätherteilchen aus einer Materie bestehen, welche der vollkommenen Härte sich so sehr nähert und so grofse Elasticität besitzt, wie man will. Für den vorliegenden Zweck brauchen wir weder die Ursache für eine solche Härte, noch diejenige für die Elasticität zu untersuchen, da diese Betrachtung uns zu weit von unserem Gegenstande abführen würde.

Wenn wir auch die wahre Ursache der Elasticität nicht kennen, so sehen wir doch immerhin, dafs es viele Körper giebt, welche diese Eigenschaft besitzen; darum hat es auch nichts Seltsames an sich, sie auch bei unsichtbaren Körperteilchen, wie denen des Äthers, vorauszusetzen. Wollte man jedoch eine andere Art der successiven Mitteilung der Lichtbewegung aufsuchen, so wird man dafür keine finden, welche besser als die Elasticität mit dem gleichmäfsigen Fortschreiten übereinstimmt. Wenn diese Bewegung nämlich nach Mafsgabe ihrer Verteilung auf mehr Materie sich mit der Entfernung von der Lichtquelle verlangsamen würde, so würde sie nicht diese grofse Geschwindigkeit auf so grofse Entfernung beibehalten können. Setzt man dagegen Elasticität in der Äthermaterie voraus, so besitzen deren Teilchen die Eigenschaft, gleich rasch zurückzuschnellen, mögen sie stark

oder schwach angestofsen werden; und so wird das Fortschreiten des Lichtes immer mit gleicher Geschwindigkeit erfolgen.

Ich habe also gezeigt, auf welche Weise man sich die allmähliche Ausbreitung des Lichtes durch kugelförmige Wellen vorstellen kann, und wie es möglich ist, dafs diese Fortpflanzung mit einer so grofsen Geschwindigkeit geschieht, wie die Versuche und die astronomischen Beobachtungen sie fordern. Hierzu mufs jedoch noch bemerkt werden, dafs obgleich man die Ätherteilchen in beständiger Bewegung annimmt (hierfür giebt es nämlich sehr viele Gründe), die Fortpflanzung der Wellen dadurch nicht gehindert werden kann. Sie besteht nämlich nicht in der Fortbewegung dieser Teilchen, sondern nur in einer geringen Erschütterung, welche dieselben trotz der ganzen sie hin- und her treibenden und ihre gegenseitige Lage verändernden Bewegung auf die umgebenden Teilchen zu übertragen gezwungen sind.

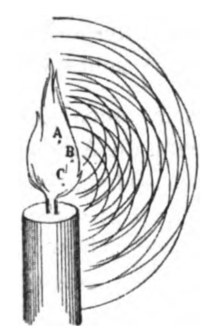


Fig. 12 (Aus Huyghens, Abhandlung über das Licht).

Es ist aber nötig, den Ursprung dieser Wellen und die Art ihrer Fortpflanzung noch eingehender zu betrachten. Zunächst folgt nämlich aus den obigen Bemerkungen über die Erzeugung des Lichtes, dafs jede kleine Stelle eines leuchtenden Körpers, wie der Sonne, einer Kerze oder einer glühenden Kohle, ihre Wellen erzeugt, deren Mittelpunkt diese Stelle ist. Sind demnach in einer Kerzenflamme A, B, C, verschiedene Punkte, so stellen die um jeden dieser Punkte beschriebenen konzentrischen Kreise die Wellen dar, welche von ihnen ausgehen.

Es braucht übrigens eine solch ungeheuere Menge von Wellen, welche sich ohne Störung durchkreuzen, ohne sich gegenseitig aufzuheben, nicht unbegreiflich zu erscheinen, da bekanntlich ein und dasselbe Stoffteilchen mehrere Wellen fortpflanzen kann, welche von verschiedenen oder sogar von entgegengesetzten Seiten kommen. Und zwar geschieht dies nicht nur, wenn dasselbe durch rasch aufeinander folgende, sondern sogar auch, wenn es durch Stöfse getroffen wird, welche in demselben Augenblicke darauf einwirken. Der Grund hierfür ist die allmählich fortschreitende Bewegung. Es läfst sich dies durch die

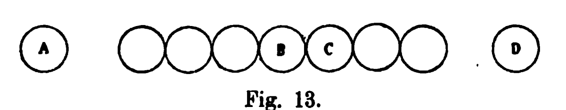


Fig. 13.

oben erwähnte Reihe gleicher Kugeln aus hartem Stoffe nachweisen. Wenn man nämlich gegen dieselbe von entgegengesetzten Seiten in demselben Momente ähnliche Kugeln A und D stöfst, so wird man jede mit derselben Geschwindigkeit, welche sie beim Aufprall hatte, zurückschnellen und die ganze Reihe an ihrer Stelle verharren sehen, obgleich die Bewegung vollständig und zwar zweimal durch sie hindurchgegangen ist.

Zunächst könnte es nun sehr befremdlich und sogar unglaublich erscheinen, dafs die durch die Bewegung so kleiner Körperchen hervorgebrachten Wellen sich bis auf so ungeheure Entfernungen fortzupflanzen vermögen, wie z. B. von der Sonne oder den Fixsternen bis zur Erde. Denn die Kraft dieser Wellen mufs sich in dem Mafse abschwächen, in welchem sie sich von ihrem Ursprunge entfernen, sodafs die Wirkung einer jeden für sich allein ohne Zweifel unfähig werden wird, sich unserem Gesichtssinne wahrnehmbar zu machen. Man wird indessen aufhören zu staunen, wenn man erwägt, dafs in einer grofsen Entfernung vom leuchtenden Körper eine Unzahl von Wellen, obwohl sie von verschiedenen Punkten des Körpers ausgesandt sind, sich vereinigen, sodafs sie nur eine einzige Welle bilden, welche demnach genug Kraft besitzen mufs, um sich auf solche Entfernungen bemerklich zu machen.

Die unendliche Zahl von Wellen, welche in demselben Momente von allen Punkten eines Fixsternes, etwa eines so grofsen wie die Sonne, herkommen, bilden nahezu nur eine einzige Welle, welche allerdings genügend Kraft besitzen kann, um auf unsere Augen Eindruck zu machen. Zudem trägt der Umstand, dafs von jedem leuchtenden Punkte infolge der häufigen Stöfse der Körperteilchen, welche in diesen Punkten den Äther treffen, mehrere Tausend Wellen in der denkbar kürzesten Zeit ausgehen, noch dazu bei, ihre Wirkung merklicher zu machen.

Hinsichtlich der Fortpflanzung dieser Wellen ist ferner noch zu bedenken, dafs jedes Teilchen des Stoffes, in welchem eine Welle sich ausbreitet, nicht nur dem nächsten Teilchen, welches in der von dem leuchtenden Punkte aus gezogenen geraden Linie liegt, seine Bewegung mitteilen mufs, sondern notwendig allen übrigen davon abgiebt, welche es berühren und sich seiner Bewegung widersetzen. Daher mufs sich um jedes Teilchen eine Welle bilden, deren Mittelpunkt dieses Teilchen ist. Wenn also DCF eine Welle ist, welche von dem leuchtenden Punkte A als Centrum ausgegangen ist, so wird das Teilchen B, das zu den von der

Kugel DCF umschlossenen gehört, seine die Welle DCF in C berührende besondere Welle KCL in demselben Augenblicke gebildet haben, in welchem die von A ausgesandte Hauptwelle in DCF angelangt ist; und es ist klar, dafs die Welle KCL die Welle DCF eben nur in dem Punkte C berührt, d. h. in demjenigen, welcher auf der durch AB gezogenen Geraden liegt. Auf dieselbe Weise bildet jedes andere Teilchen innerhalb der Kugel DCF wie bb, dd u. s. w. seine eigene Welle. Jede dieser Wellen kann indessen nur unendlich schwach sein im Vergleich zur Welle DCF, zu deren Bildung alle übrigen mit demjenigen Teile ihrer Oberfläche beitragen, welcher von dem Mittelpunkte A am weitesten entfernt ist.

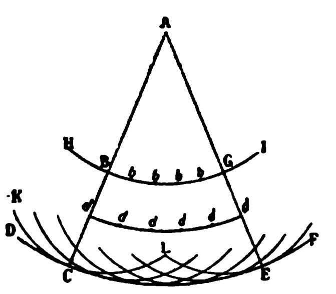


Fig. 14 (Aus Huyghens, Abhandlung über das Licht).

Man sieht ferner, dafs die Welle DCF bestimmt wird durch die äufserste Grenze der Bewegung, welche von dem Punkte A in einem gewissen Zeitraum ausgegangen ist. Denn jenseits dieser Welle findet keine Bewegung statt, wohl aber in dem von ihr umschlossenen Raume, nämlich in denjenigen Teilen der besonderen Wellen, welche die Kugel DCF nicht berühren. Man darf nicht etwa meinen, dafs alles dies zu spitzfindig und allzu gesucht sei, denn man wird in der Folge sehen, dafs alle Eigenschaften des Lichtes und alles, was auf seine Zurückwerfung und Brechung Bezug hat, sich hauptsächlich aus dieser Anschauung erklärt.

Um zu den Eigenschaften des Lichtes überzugehen, bemerke ich zuerst, dafs jeder Wellenteil sich in der Weise ausbreiten mufs, dafs seine äufsersten Grenzen immer zwischen den nämlichen, vom leuchtenden Punkte aus gezogenen geraden Linien bleiben. Der Wellenteil BG (Fig. 14), welcher den leuchtenden Punkt A zum Mittelpunkt hat, wird sich also bis zu dem von den Geraden ABC, AGE begrenzten Bogen CE ausbreiten. Obgleich nämlich die Einzelwellen, welche durch die im Raume CAE enthaltenen Teilchen erzeugt werden, auch aufserhalb dieses Raumes sich ausbreiten, so treffen sie gleichwohl nirgends sonst, als eben nur in dem Bogen CE ihrer gemeinschaftlichen Berührungslinie, im nämlichen Augenblicke zusammen, um eine die Bewegung abgrenzende Welle zu bilden.

Hierin liegt der Grund, warum das Licht, sofern wenigstens seine Strahlen nicht zurückgeworfen oder gebrochen werden, sich nur in geraden Linien fortpflanzt, sodafs es einen jeden Gegenstand nur dann beleuchtet, wenn der Weg von seiner Quelle bis zu diesem Gegenstande längs solcher Linien offen steht. Denn wenn beispielsweise eine Öffnung BG vorhanden wäre, welche durch undurchsichtige Körper BH, GJ begrenzt ist, so würden gemäfs vorstehender Darlegung die von dem Punkte A kommenden Wellen immer durch die Geraden AC und AE begrenzt werden, da diejenigen Teile der Einzelwellen, welche sich über den Raum ACE hinaus ausbreiten, zu schwach sind, um daselbst Licht hervorzubringen.

*Nachdem Huyghens die Grundzüge seiner Theorie entwickelt hat, erklärt er daraus die Erscheinungen der Reflexion und der Brechung. Er bietet ferner im 5. Kapitel seiner Abhandlung eine meisterhafte Untersuchung der 1669 von Bartholin entdeckten Doppelbrechung, ohne jedoch die Erscheinung befriedigend erklären zu können, wie er es auch unterläfst, eine Erklärung der Körperfarben und der bei der Brechung eintretenden Farbenzerstreuung zu geben.*

*Über die Weiterbildung der Wellentheorie durch Young und Fresnel im Beginne des 19. Jahrhunderts siehe Bd. II.*

## 17. Die Entdeckung des Mariotteschen Gesetzes. 1679.

### Mariottes Abhandlung über die Natur der Luft[1]).

*Mariotte, geboren 1620, gestorben 1684 zu Paris und Mitglied der dortigen Akademie der Wissenschaften, fand, dafs das Volumen eines Gases dem darauf wirkenden Drucke umgekehrt proportional ist. Der Engländer Boyle hat dieses Grundgesetz der Aëromechanik schon vor Mariotte entdeckt, doch hat der letztere es selbständig gefunden und klarer ausgesprochen.*

Die Luft ist so notwendig zur Erhaltung unseres Lebens und ihre Verbreitung so allgemein, dafs diejenigen, welche sich dem Studium

1) Nach der im Jahre 1717 zu Leyden erschienenen Ausgabe der Werke Mariottes (1. Bd. S. 149—153) übersetzt von F. Dannemann.

der Natur zuwenden, die Erforschung der verschiedenen Eigenschaften der Luft nicht vernachlässigen dürfen.

Einige Philosophen behaupten, dafs sie nichts anderes sei als die Ausdünstung des Wassers und anderer auf der Erde befindlicher Stoffe. Kinder und Ungebildete lassen sich nur mit Mühe von ihrer Existenz überzeugen. Da ihre Durchsichtigkeit sie unsichtbar macht, reden sie sich leicht ein, dafs sich nichts in einem Gefäfse befindet, in das man nicht Wasser oder einen anderen sichtbaren Körper gefüllt hat.

Noch mehr Schwierigkeiten macht die Annahme, dafs die Luft Gewicht besitzt, und es bedarf vieler Überlegungen und Versuche, um sich davon zu überzeugen.

Der sicherste Beweis für die Schwere der Luft ist der, den man der überraschenden Erscheinung entnimmt, welche in einer 3—4 Fufs langen, an einem Ende geschlossenen und mit Quecksilber gefüllten Glasröhre vor sich geht. Der Versuch ist bekannt genug. Man verschliefst das offene Ende einer solchen Röhre mit dem Finger und taucht sie umgekehrt in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäfs. Nimmt man dann den Finger fort, so entleert sich die Röhre nicht völlig, sondern bleibt bis zu einer Höhe von etwa 27½ Zoll mit Quecksilber gefüllt. Diese Röhre mit dem Quecksilber nennt man ein Barometer, weil man sich derselben bedient, um den Druck der Luft zu messen.

Will man zeigen, dafs das Vorhandensein dieser Quecksilbersäule, sowie die Änderungen, welche ihre Höhe erleidet, von der Gröfse des Druckes herrühren, der auf der Oberfläche des Quecksilbers in dem Gefäfse lastet, so tauche man ein Barometer in hinreichend tiefes und klares Wasser. Man wird dann sehen, dafs eine Wasserhöhe von etwa 3½ Fufs das Quecksilber um 3 Zoll etwa höher treiben wird, als es in der Luft stand, während eine Wassersäule von 14 Zoll es nur um einen Zoll höher emportreibt. Offenbar rührt dies daher, dafs das spezifische Gewicht des Quecksilbers 14 mal gröfser ist als dasjenige des Wassers, wie man mit Hilfe einer Wage nachweisen kann. Der Druck einer 3½ Fufs hohen Wassersäule hält einem Quecksilberdruck von 3 Zoll das Gleichgewicht, sodafs infolgedessen ein Emporsteigen des Quecksilbers um diese Höhe eintreten mufs. Da man nun durch fortgesetzte Versuche erkennt, dafs die Quecksilbersäule des Barometers an einem tief gelegenen Orte zunimmt, an hoch gelegenen Stellen dagegen sich im Vergleich zu ihrer mittleren Höhe bedeutend verkürzt, so zieht man hieraus leicht denselben

Schlufs, den man in Anbetracht des Wassers zog. Dafs nämlich, wenn das Quecksilber 28 Zoll hoch steht, daraus hervorgeht, dafs diese Quecksilbersäule gerade so viel wiegt, wie eine Luftsäule von gleicher Grundfläche, welche sich von der Oberfläche des in dem Gefäfse befindlichen Quecksilbers bis zur Grenze der Atmosphäre erstreckt.

Eine zweite Eigenschaft der Luft besteht darin, dafs sie aufserordentlich verdichtet und ausgedehnt werden kann und dabei immerfort einen Druck ausübt, wodurch sie die Körper, welche sie einschliefsen, zurückstöfst oder zurückzustofsen strebt. Die meisten anderen Spannkräfte nehmen allmählich ab, man bemerkt aber nie, dafs dies bezüglich dieser Spannung der Luft der Fall ist. Es ist mir von verschiedenen Seiten bestätigt worden, dafs länger als ein Jahr geladene Windbüchsen dasselbe leisteten, als wenn sie soeben geladen wären.

Man darf nicht glauben, dafs die Luft nahe der Erdoberfläche ihre natürliche Ausdehnung besitze. Da nämlich die unteren Schichten von der Last der ganzen Atmosphäre zusammengedrückt werden, so müssen sie viel dichter sein als die oberen. Dieser Unterschied in der Dichte der Luft läfst sich etwa begreiflich machen, indem man sich viele übereinander gehäufte Schwämme vorstellt. Es leuchtet nämlich ein, dafs diejenigen, welche sich ganz oben befinden, die ihnen von Natur zukommende Ausdehnung besitzen werden. Die unmittelbar darunter liegenden werden etwas weniger ausgedehnt, die alleruntersten endlich sehr zusammengeprefst und verdichtet sein.

Die erste Frage, welche man in dieser Hinsicht stellen kann, ist die, ob die Luft genau im Verhältnis zu dem Drucke verdichtet wird, unter dem sie sich befindet, oder ob diese Zunahme der Dichtigkeit von anderen Gesetzen abhängt. Um zu erkennen, ob ersteres der Fall ist, habe ich folgende Überlegungen angestellt. Vorausgesetzt, dafs die Luft, wie der Versuch zeigt, dichter ist, wenn sie von einem gröfseren Gewichte belastet wird, so folgt daraus notwendig, dafs, wenn die ganze Luftmasse leichter würde, ihre unterste Schicht mehr Raum einnähme; würde die Atmosphäre dagegen ein gröfseres Gewicht besitzen, so würde sie in der Nähe des Erdbodens noch dichter sein, als es augenblicklich der Fall ist. Man mufs also schliefsen, dafs die Dichtigkeit, welche die Luft nahe der Erdoberfläche besitzt, in einem bestimmten Verhältnis zu dem Gewichte der oberen einen Druck ausübenden Luftschichten steht, und dafs sie in diesem Zustande vermöge ihres

Ausdehnungsbestrebens dem gesamten Luftdruck, der auf ihr lastet, genau das Gleichgewicht hält.

Wenn man daher in einem Barometer Quecksilber und Luft einschliefst und den Torricellischen Versuch macht, so wird das Quecksilber in der Röhre nicht seine Höhe beibehalten. Die Luft nämlich, welche vor dem Versuche darin eingeschlossen wurde, hält vermöge ihrer Spannung dem Drucke der gesamten Atmosphäre das Gleichgewicht, d. h. einer Luftsäule von gleichem Durchmesser, die sich von der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäfse bis zur Grenze der Atmosphäre erstreckt. Da folglich das Quecksilber keinen Widerstand mehr findet, dem es das Gleichgewicht halten könnte, so wird es herabsinken. Dieses Herabsinken wird aber kein völliges sein. Indem das Quecksilber nämlich fällt, dehnt die im Innern der Röhre befindliche Luft sich aus. Infolgedessen ist ihre Spannung nicht mehr imstande, dem Drucke der äufseren Atmosphäre das Gleichgewicht zu halten. Ein Teil des Quecksilbers bleibt daher in der Röhre; und zwar wird die Höhe der Quecksilbersäule von der Dichte der eingeschlossenen Luft abhängen. Dieser Dichte entspricht nämlich eine Spannung, die nur einem Teile des Atmosphärendrucks gleichkommt. Das Quecksilber, welches in der Röhre schweben bleibt, hebt den Rest des Luftdrucks auf, sodafs sich ein Gleichgewichtszustand bildet zwischen dem Drucke der gesamten Luftsäule einerseits und dem Drucke der Quecksilbersäule vermehrt um die Spannung der eingeschlossenen Luft andererseits. Wenn also die Luft sich im Verhältnis des Druckes, der auf ihr lastet, verdichtet, so mufs notwendig bei einem Versuche, bei welchem das Quecksilber in der Röhre die Höhe von 14 Zoll innehält, die eingeschlossene Luft die doppelte Ausdehnung besitzen wie vor dem Experiment, vorausgesetzt, dafs zur selben Zeit ein Barometer ohne Luft eine Quecksilberhöhe von 28 Zoll anzeigt.

Um zu erkennen, ob es sich so verhält, machte ich den Versuch. Ich bediente mich einer Röhre von 40 Zoll Länge und füllte 27½ Zoll Quecksilber hinein, sodafs sich 12½ Zoll Luft darin befanden. Tauchte ich dieselbe dann einen Zoll tief in das Quecksilbergefäfs ein, so betrug die Höhe der Säule 14 Zoll und 25 Zoll waren mit der auf den doppelten Raum ausgedehnten Luft gefüllt. Ich hatte mich also in meiner Erwartung nicht getäuscht. Nachdem nämlich die Röhre umgedreht und in das Quecksilber des Gefäfses getaucht war, fiel das Quecksilber in derselben und blieb nach einigen Schwankungen in einer Höhe von 14 Zoll stehen.

Die eingeschlossene Luft, welche jetzt 25 Zoll einnahm, hatte also ihr Volumen verdoppelt, da sich vor dem Versuche nur $12^1/_2$ Zoll Luft in der Röhre befanden.

Ich machte noch ein zweites Experiment, bei dem ich 24 Zoll Luft über Quecksilber absperrte. Letzteres sank dann bis auf 7 Zoll herab, ganz entsprechend unserer Voraussetzung. Da nämlich 7 Zoll Quecksilber dem vierten Teil des Atmosphärendruckes das Gleichgewicht halten, so kommen die übrigen drei Viertel der Spannkraft der eingeschlossenen Luft gleich. Das Volumen wird dann 32 Zoll betragen, da es zum ursprünglichen Volumen von 24 Zoll in demselben Verhältnis stehen mufs, wie der Gesamtdruck der atmosphärischen Luft zu drei Vierteln desselben. Ich veranstaltete noch einige Versuche dieser Art, indem ich mehr oder weniger Luft in derselben Röhre oder in Röhren verschiedener Gröfse einschlofs. Immer fand ich, dafs das Volumen der Luft nach dem Versuche zu dem ursprünglichen Volumen, das sie vorher über dem Quecksilber einnahm, in demselben Verhältnis stand, wie der gesamte Atmosphärendruck zu demselben vermindert um die Höhe der Quecksilbersäule, welche in der Röhre hängen blieb. Daraus geht zur Genüge hervor, dafs man es als eine unabänderliche Regel oder als ein Naturgesetz betrachten kann, dafs die Luft entsprechend dem Drucke, der auf ihr lastet, verdichtet wird.

Will man dies durch weitere Versuche beweisen, so nehme man eine gebogene Röhre, deren Schenkel parallel sind. Der eine derselben sei etwa 8 Fufs, der andere 12 Zoll lang. Der längere Schenkel sei am oberen Ende offen, der andere vollständig geschlossen. Man beginne damit, ein wenig Quecksilber einzugiefsen, um den unteren Teil der Röhre, welcher die beiden Schenkel verbindet, zu füllen. Dabei mufs man darauf achten, dafs das Quecksilber in dem einen Schenkel nicht höher als in dem anderen zu stehen kommt, damit man sicher geht, dafs die eingeschlossene Luft nicht dichter oder ausgedehnter als die Luft der Atmosphäre ist.

Darauf giefse man allmählich Quecksilber in die Röhre, wobei man dafür Sorge zu tragen hat, dafs durch den Anprall keine neue Luft zu der eingeschlossenen hinzugelangt. Man wird dann bemerken, dafs, wenn das Quecksilber auf 4 Zoll in dem kürzeren Schenkel gestiegen ist, dasselbe in dem anderen Schenkel 14 Zoll höher steht, das heifst 18 Zoll über der Verbindungsstelle beider Schenkel. Dies entspricht dem Gesetze, dafs die Luft im Ver-

hältnis zu dem Drucke, der auf ihr ruht, zusammengepreſst wird. Die eingeschlossene Luft steht dann nämlich unter dem Drucke der Atmosphäre, der einer Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe entspricht, vermehrt um den Druck von 14 Zoll Quecksilber. Der Gesamtdruck von 42 Zoll verhält sich zu dem Druck von 28 Zoll, unter dem die Luft stand, als sie 12 Zoll in dem kleineren Schenkel einnahm, wie dieses Volumen von 12 Zoll zu dem neuen Volumen von 8 Zoll[1]).

Gieſst man von neuem Quecksilber ein, bis dasselbe in dem kleineren Schenkel auf 6 Zoll gestiegen ist, sodaſs die Luft in demselben nur noch 6 Zoll einnimmt, so wird das Niveau des Quecksilbers in dem längeren Schenkel 28 Zoll höher stehen als in dem kürzeren, genau dem Gesetze entsprechend. Die eingeschlossene Luft steht dann nämlich unter dem Drucke von 28 Zoll Quecksilber vermehrt um den Druck der Atmosphäre, der gleichfalls 28 Zoll beträgt. Die Summe 56 ist das Doppelte von 28, wie das erste Volumen 12 das doppelte der gebliebenen 6 Zoll Luft ist. Fährt man mit dem Eingieſsen des Quecksilbers in den gröſseren Schenkel fort, so wird dasselbe in dem kleineren 8 Zoll Höhe erreichen, wenn es in dem längeren 56 Zoll darüber steht, was wieder dasselbe Verhältnis ergiebt.

Will man den Versuch noch weiter treiben, so fahre man mit dem Eingieſsen von Quecksilber fort, bis die Luft in dem kleineren Schenkel nur noch 3 Zoll einnimmt. Man wird dann bemerken, daſs das Quecksilber in dem längeren Schenkel 84 Zoll höher steht als in dem kürzeren, was mit den 28 Zoll Atmosphärendruck 112 Zoll ergiebt. Das ist das Vierfache von 28, wie auch das anfängliche Volumen von 12 Zoll das Vierfache des zuletzt beobachteten von 3 Zoll ist.

Sollen diese Versuche gut gelingen, so muſs der kürzere Schenkel überall gleich weit sein. Was dagegen den längeren Schenkel anbetrifft, so ist es nicht erforderlich, daſs seine Weite auf der ganzen Länge genau dieselbe sei[2]).

---

1) Der eingeschlossene Luftcylinder hat nach dem Eingieſsen des Quecksilbers nur noch eine Länge von 8 Zoll, da dasselbe in den 12 Zoll messenden Schenkel ja um 4 Zoll eingedrungen ist.

2) Da ja nach dem hydrostatischen Paradoxon der Bodendruck nicht von der Form des Gefäſses abhängt, sondern dem Abstand der gedrückten Fläche von dem Spiegel der Flüssigkeit proportional ist.

# 18. Swammerdam zergliedert die Insekten.

## J. Swammerdam, Abhandlung über die Bienen 1673[1]).

*Jan Swammerdam wurde 1637 in der Nähe von Amsterdam geboren, studierte in Leyden Medizin, praktizierte aber nicht, sondern widmete sich ausschliefslich der Zergliederung und Beobachtung niederer Tiere. Der Sorgfalt, Ausdauer und Genauigkeit, die ihn bei seinen mustergültigen Untersuchungen leiteten, hat man stets Anerkennung, ja Bewunderung gezollt. Swammerdam starb 1685 in ärmlichen Verhältnissen. Die Bibel der Natur, welche eine Zusammenfassung seiner Abhandlungen darstellt, wurde erst 1735 von Boerhaave herausgegeben und 1752 ins Deutsche übersetzt. Hier folgt die Abhandlung über die Bienen, welche gekürzt und hinsichtlich der Schreib- und Ausdrucksweise einer Überarbeitung unterzogen ist. Dem Leser sei empfohlen, Swammerdams Angaben während der Lektüre, soweit wie möglich, am Objekt nachzuprüfen.*

Obgleich die Herrlichkeit des unvergänglichen Gottes, sein unsichtbares Wesen, seine ewige Kraft und Weisheit aus allen Geschöpfen erkannt wird, so scheint dennoch das eine Geschöpf den unsichtbaren Gott in einem viel helleren Licht vor Augen zu stellen als das andere. Dieser Satz wird aus nachstehender Abhandlung über die Bienen deutlich erhellen, bei deren Ausarbeitung es dem allweisen und gütigen Gott in Gnaden gefallen hat, die von mir angewandte unverdrossene Mühe mit Segen zu krönen.

Als ich am 22. August 1673 einen Korb mit Bienen, die geschwärmt hatten, öffnete, fand ich in demselben einige tausend gemeine Bienen, einige hundert Brutbienen und einen König. Ich rede nach den gemeinen Begriffen und Ausdrücken. Denn in der That hat es von Anfang der Welt her weder Bienenkönige noch Brutbienen in den Bienenkörben gegeben. Es beruht auf einem grofsen Irrtum, dafs man den Tieren dergleichen Namen beigelegt hat. Ich werde überall in nachfolgendem Werke das Tier, welches man den König der Bienen zu nennen pflegt, Weibchen, die ver-

[1]) Jan Swammerdam, Bibel der Natur, worinnen die Insekten in gewisse Klassen verteilt, sorgfältig beschrieben, zergliedert in sauberen Kupferstichen dargestellt, mit vielen Anmerkungen über die Seltenheiten der Natur erläutert und zum Beweise der Allmacht und Weisheit des Schöpfers angewendet werden. Aus dem Holländischen übersetzt. Leipzig, in Johann Friedrich Gleditschens Buchhandlung 1752.



meintliche Brutbiene Männchen[1]) und endlich die gemeine Biene Arbeitsbiene nennen. Von solchem Verfahren werde ich an seinem Orte die Ursachen angeben. Ich werde es mit unwidersprechlichen Beweisen rechtfertigen.

Weiter fand ich noch dreierlei Kämmerchen oder Zellen. In einigen hundert dieser Häuschen waren die Männchen gewachsen, einige wenige enthielten die Weibchen, die meisten aber, deren Zahl sich gern auf einige tausend belief, waren der Aufenthalt der gemeinen Bienen, die darin ausgebrütet, ernährt und in eine andere Gestalt verwandelt worden waren. Die Häuschen der Männchen und Weibchen waren gänzlich leer, wie auch diejenigen der übrigen Bienen zum gröfsten Teil. Es waren nämlich von den letzteren eine gute Anzahl noch zugesiegelt oder mit Wachs verklebt. Als ich sie mit der Spitze einer Nadel aufstach oder entsiegelte, fand ich in einigen Bienenwürmer, in anderen Püppchen. Wieder in anderen Zellen fand ich Honig; die übrigen waren offen und zum Teil mit Eiern, zum Teil auch mit Würmern besetzt.

Werden Häuschen leer, so legt das Weibchen seine Eier hinein. Ich habe schon zu Anfang März in den Körben junge Brut wahrgenommen. Man lasse sich dadurch nicht befremden, es läfst sich leicht begreifen, wie es zugeht. Anfang August sah ich nämlich einige tausend Eier in dem Weibchen. Es ist also geschickt, das ganze Jahr hindurch sein Geschlecht zu vermehren.

Ich habe vorhin vergessen zu bemerken, dafs ich einige Häuschen mit einem gewissen Stoff von verschiedener Farbe angefüllt getroffen habe. Seiner Beschaffenheit nach war es eine krümelige Substanz. Einige Häuschen, welche dieselbe enthielten, waren versiegelt, andere waren zur Hälfte gefüllt. Die Imker nennen diese Substanz Bienenbrot. Ich erkannte, dafs sie mit derjenigen, welche die Bienen am fünften Gliede ihres letzten Beinpaares immer in die Körbe eintragen und die von jedermann für Wachs gehalten wird, ungemein übereinstimmt. Diese Bemerkung veranlafste mich, besagte Substanz, mit der sich die Bienen behängen, mit dem Bienenbrot zu vergleichen. Ich fand, dafs beide sich nicht im Geringsten unterscheiden[2]). Hieraus entstand bei mir ein sehr grofser Zweifel, ob die Bienen das Wachs unmittelbar vom Felde haben und eintragen. Ich kann es so wenig vom Wachs

1) Drohne.

2) Das Bienenbrot besteht aus Pollenkörnern, die vermittelst des bürstenartigen ersten Fufsgliedes der Hinterbeine abgestreift und als sogenannte Höschen eingetragen werden.

als vom Honig glauben und halte vielmehr dafür, sie kochen es in ihrem Magen zu einer süfseren und festeren Flüssigkeit aus[1]).

Ich habe auch das Bienenbrot mit Honig zu mengen gesucht, um zu sehen, ob ich daraus Wachs machen könnte. Doch der Ausgang belehrte mich, dafs dies nicht der Fall sei.

Nimmt man ein Glas mit reinem Wasser, wirft das Bienenbrot hinein und schüttelt oder schwenkt es ein wenig um, so zerfährt es in einen sehr zarten Staub. Von diesem Staube nun streicht man etwas auf ein dünnes Stückchen Glas und betrachtet dies durch ein Vergröfserungsglas. Alsdann wird man gewahr, dafs das Bienenbrot aus nichts anderem als aus runden Körperchen besteht.

Die Zellen der Bienen sind sechsseitig. Die oberen Winkel der Seiten sind gleich, aber die unteren sind ungleich. Dies rührt daher: Jedes Häuschen steht auf drei anderen und da der Grund der Häuschen niedergeht, so bilden je zwei Seiten einen Winkel, der schräg abwärts geht. Der Grund der Häuschen besteht aus drei Abschnitten; durchbohrt man jeden derselben mit einer Nadel, so kommt jedes der drei entstandenen Löcher in einem anderen Häuschen auf der anderen Seite heraus, ein handgreiflicher Beweis, dafs jedes Häuschen auf drei anderen gegründet ist. Alle hängen mit ihrem Grunde aneinander, so dicht und untrennbar, dafs sie mehr ein einziges als ein aus vielen Stücken zusammengesetztes Gewebe ausmachen. Keines läfst sich anders als durch Brechen oder Schneiden von den übrigen absondern. Diejenigen irren also sehr, die sich einbilden oder vorgeben, jede Biene baue ihr eigenes Haus.

Wie aber bauen die Bienen? Durch welche Kunst, Wissenschaft und Werkzeuge verfertigen sie ein so bewunderungswürdiges und regelmäfsiges Werk? Wie das zugeht, weifs nur derjenige, der im Lichte wohnt. Indessen halte ich es doch nicht für ganz unmöglich, mit der Zeit dahinter zu kommen. Ich getraute mir, es selbst zu entdecken, sollte ich nur ein halbes Jahr Gelegenheit haben, Bienen zu halten.

Bevor ich nun weiter gehe, will ich das Männchen, das Weibchen und die Arbeitsbiene beschreiben und miteinander vergleichen[2]).

[1]) Der Honig ist, wie Swammerdam vermutete, ein im Magen erzeugtes Umwandlungsprodukt der Blütensäfte, während das Wachs zwischen den Hinterleibsringen aus dem Körper abgeschieden, sozusagen ausgeschwitzt wird.

[2]) Siehe die in vielen Lehrbüchern der Zoologie nebeneinander gestellten Abbildungen der drei Formen, sowie die Tafel von Leuckart und Nitsche. Kassel, Verlag von Theodor Fischer.

Die Augen der Arbeitsbienen sind oval. So sehen sie auch beim Männchen aus, sind aber wohl um zwei Drittel oder noch einmal so grofs wie die Augen jener. Die Augen des Weibchens sind wenig gröfser als die der Arbeitsbiene. Die Arbeitsbiene besitzt oben am Kopfe oberhalb der Augen viele Härchen und noch drei besonders kleine Augen. Beim Männchen finden sich diese Härchen nicht, denn ihre Augen erstrecken sich bis an den Ort, den die Haare bei der Arbeitsbiene einnehmen, und berühren einander. Daher kommt es, dafs die drei besonderen Augen der Männchen viel tiefer stehen als es bei der Arbeitsbiene der Fall ist. Das Weibchen stimmt mit der Arbeiterin darin überein, dafs seine Augen gleichfalls durch einen Zwischenraum getrennt sind und die drei kleinen Augen sich in derselben Höhe zeigen wie dort.

Alle Bienen haben zwei Fühler, doch sind dieselben verschieden gegliedert. Die Fühler der Arbeiterin und des Weibchens haben nämlich 15 Glieder, die des Männchens aber nur 11. Das erste Fühlerglied, welches sich an den Kopf ansetzt, ist bei der Arbeiterin länglich, etwas kürzer beim Männchen und wieder etwas länger beim Weibchen.

Die Arbeiterin und das Weibchen besitzen über den Frefswerkzeugen eine deutliche hornige Lippe, beim Männchen fällt dieselbe nicht so sehr in die Augen. Die Arbeitsbiene hat lange Mundteile, diejenigen der Männchen sind sehr kurz, die des Weibchens von mittlerer Länge.

Alle drei Formen haben vier Flügel. Beim Männchen sind sie jedoch viel länger und breiter als bei der Arbeiterin. Die Flügel des Weibchens, obschon ebensolang wie die der Arbeitsbiene, kommen einem doch kürzer vor. Das rührt von der Länge seines Hinterleibes her, der, weil er die Eier enthalten soll, geräumiger sein mufs.

Alle Bienen besitzen 6 Beine und jedes derselben 9 Glieder. Bei der Arbeitsbiene sind die letzten Beine viel breiter und gröfser als die vordersten. Am fünften und gröfsten Gliede des letzten Beinpaares[1]) tragen die Arbeitsbienen das sogenannte Bienenbrot.

An jedem Fufse finden sich vier Krallen, zwei grofse und zwei kleine; letztere sind den ersteren eingefügt. Zwischen den Krallen sitzt eine weiche Masse, die beim Zerdrücken eine durchsichtige Flüssigkeit absondert.

---

[1]) Es ist dies das erste Fufs- oder Tarsenglied. Dasselbe wird auch wohl die Bürste genannt, weil es steif behaart ist und zum Abbürsten des Blütenstaubes dient.

Der Stachel fehlt dem Männchen gänzlich. Die Arbeiterin ist fast mal so klein wie das Männchen, das Weibchen bedeutend gröſser als erstere, aber kleiner als das Männchen, doch länger und mehr spitz zulaufend.

Die Farbe der Arbeitsbiene fällt ins dunkel Goldgelbe, das Männchen ist etwas grauer, der Bauch beim Weibchen etwas heller als bei den übrigen. Fast alle bisher genannten Teile der Bienen sind mit Haaren besetzt.

Die Arbeiterin ist weder männlich noch weiblich, indessen hat sie in ihrer Art und ihrem Leibesbau mehr Weibliches als Männliches an sich.

Soviel über die äuſseren Organe der Biene. Die inneren sind teils allen drei Formen gemeinsam, teils einer derselben eigen. Von ersteren finden sich folgende: Im Kopf das Gehirn und das kleine Gehirn, der Anfang des Markes, das durch den ganzen Leib von dem einen Ende bis zum anderen hindurchgeht[1]), die knotigen Verdickungen desselben und die Nerven, welche teils aus dem Marke selbst, teils aus dessen Knoten hervorsprieſsen. Ferner stimmt der innere Bau des Auges bei allen drei Formen der Biene überein. Sie besitzen alle die umgekehrten Pyramiden, die netzförmigen Häutchen und die Nervenstränge, welche sich an Stelle unseres Sehnerven befinden[2]).

In der Brust erblickt man durchgängig die Muskeln der Flügel und Beine, sowie die Luftröhren und Fett, woran auch im Kopfe kein Mangel ist. Im Hinterleib findet sich bei allen Bienen die Speiseröhre, welche sich durch die Brust bis dahin erstreckt, der Magen, die dünnen und dicken Gedärme, sowie besondere zum Darm gehörende Drüsen. Von alle diesem sind Abrisse und Beschreibung in der Abhandlung über die Bienen mitgeteilt worden. Ferner sieht man die Atmungswerkzeuge mit ihren Bläschen und Luftröhren vornehmlich im Hinterleib. Das Herz liegt gleichfalls gröſstenteils im Hinterleib. Endlich findet sich dort noch eine Menge Fett, sowie die Muskeln, welche unter den Ringen liegen und sie bewegen.

Sechs Tage nach der Schwärmzeit legt das ausgeflogene Weibchen seine Eier in die neu gebauten Häuschen. In jedes setzt es ein Ei, und zwar so geschwind, daſs es nicht darauf achtet, ob

1) Siehe Leuckart und Nitsche, Tafel XXVII, Figur 4 und 23.
2) Über den Bau des Insektenauges siehe Johannes Müller in 49 B.

das Häuschen erst angefangen oder schon einige Zeit fertig ist. Wenn nur der dreieckige schief niedergehende Grund vorhanden ist, so legt das Weibchen ohne Verzug sein Ei darauf und alsdann bauen die dienstbaren Bienen, die dem Weibchen beständig und überall, wo es hingeht, folgen, die Wachszellen völlig aus. Das rührt von einer Sorgfalt, Liebe und Beflissenheit her, die der höchste Schöpfer ihnen zu ihrer Brut eingepflanzt hat. Sie verlieren auch diesen Trieb nicht, selbst wenn das Weibchen ihnen genommen wird.

Ich werde an anderer Stelle darthun, dafs das Zusammenleben der Bienen auf nichts anderes abzielt, als auf die Fortpflanzung und Auferziehung, und dafs im übrigen bei ihnen weder von einer Regierung, noch von bürgerlichen Einrichtungen, Zucht und Tugenden das Geringste zu bemerken ist. Alle Handlungen, die man an ihnen wahrnimmt, sind für sie so unvermeidlich wie die Folge von Winter und Sommer. Nicht nur die Bienen helfen ihren Jungen in die Höhe, sondern auch Hornissen, Wespen, Hummeln, Ameisen etc. Diese Tiere würden unfehlbar, wie die anderen Insekten, bald nach Ablage ihrer Eier sterben, wenn ihnen nicht die Sorge für die Erziehung ihrer Jungen anbefohlen wäre, die sie gleichsam nötigt, etwas länger am Leben zu bleiben.

Seht so überaus wunderbar waltet Gott in diesen winzigen Geschöpfen, dafs ich mir getraue zu behaupten, Gottes unaussprechliche Wunder seien in dem Geschmeifse versiegelt und man könne diese Siegel nicht anders erbrechen, als wenn man das Buch der Natur, die Bibel der natürlichen Gottesgelahrtheit, in welcher Gottes Unsichtbarkeit sichtbar wird, fleifsig durchblättert. Schatzkammern von unaussprechlichen Wundern schliefsen sich alsdann auf, und der verborgene Schöpfer wird in diesen kleinen Tierchen so kenntlich, dafs ich die an ihnen gemachten Entdeckungen für die allerstärksten und unwidersprechlichsten Beweise seines göttlichen Wesens und seiner Vorsehung gegen alle seine Verleugner halte. Die Sätze dergleichen Leute vom Ursprunge dieser Tierchen sind eitle und stroherne Mutmafsungen. Sie leiten sie von einem zufälligen Zusammenflufs der Bestandteile ab, obgleich ihre Glieder künstlicher ausgearbeitet und zusammengesetzt sind als die der gröfsten Geschöpfe.

Die Eier, welche das Weibchen in jede Zelle absetzt, sind länglich, ein wenig gekrümmt, an der einen Seite etwas dicker als an der andern, hell und glänzend. Sie sind mit einer wässerigen Substanz gefüllt und am dünnsten Ende auf das Wachs geklebt.

Durch das Vergröfserungsglas betrachtet, erscheint das Ei etwas runzlich. Einige Tage nach dem Ablegen bricht das Tier durch die Haut desselben hindurch und kriecht in Gestalt eines Würmchens, das ungemein zart und ohne Füfse ist, hervor. Man erkennt sogleich die Einschnitte oder Kerben an demselben. Von der Ablage bis zum Aufbrechen kümmern sich die Bienen nicht sonderlich um die Eier, jedenfalls brüten sie dieselben nicht aus, wie gewöhnlich angegeben wird. Das Ausbrüten der Eier geschieht durch nichts anderes als durch die vereinigte Wärme aller im Korbe befindlichen Bienen. In demselben ist es nämlich wunderbar warm, selbst im Winter, so dafs auch der Honig alsdann weder gerinnt noch körnig wird. Durch diese wechselseitige Erwärmung erhalten die Bienen auch sich selbst wider die Kälte der Jahreszeit. Meines Wissens thut keine andere Insektenart dasselbe. Selbst Hornissen, Wespen und Hummeln werden von der Kälte des Winters gelähmt, so dafs sie die ganze Zeit über sich nicht rühren können, auch nichts geniefsen, noch Unrat auswerfen.

Ist das Bienenwürmchen nun auf gedachte Weise aus seinem Ei gekommen und hat es ein zartes Häutchen abgelegt, so mufs es, wie schon vorher erwähnt, gefüttert werden. Da es nun aber von seiner Stelle, die ihm in seinem Häuschen gleich anfangs angewiesen worden, nicht fortweicht, so mufs jemand da sein, der es füttert. Diese mühsame Besorgung nun nehmen die Arbeiterinnen auf sich und bringen die junge Brut in die Höhe, sodafs aus einem Wurme von der Gröfse einer Nadelspitze zuerst ein grofser Wurm, dann ein Püppchen und endlich eine vollkommene Biene wird. Sie bereiten ihren Würmchen mit vieler Mühe und Sorgfalt täglich die Kost, wie die Vögel ihren Jungen. Doch ist es kein Honig, womit die Bienen ihre Brut füttern. Es ist eine ganz andere besondere Substanz, weifslich wie gewöhnliches Eiweifs, das zu erhärten beginnt. Woher die Bienen dieses Futter haben und ob es Honig sei, den sie wieder ausspeien, nachdem er in ihrem Magen verwandelt worden, ist mir zur Zeit noch ungewifs[1]).

Sind die Bienenwürmer nun gröfser geworden, so füllen sie ihre Zellen gänzlich aus und krümmen sich zusammen. Nimmt man einen Wurm um diese Zeit aus seinem Häuschen heraus, so bemerkt man auf dem Grunde desselben eine gelbliche, dicke

1) Die junge Brut wird mit einem weifslichen Gemisch von Honig, Blütenstaub und Wasser ernährt, das im Magen der Biene zubereitet wird.



Substanz unter ihm liegen; es ist sein Unrat. Während der Wurm an Gröſse zunimmt, häutet er sich. Ich zweifle nicht daran, daſs er dies mehrere Male thut, wie alle anderen Insekten; wie oft es aber geschieht, kann ich nicht sagen.

Untersucht man nun den Bienenwurm etwas genauer und betrachtet ihn durch ein Vergröſserungsglas, so findet man, daſs er aus 14 Ringen, den Kopf eingerechnet, besteht. Am Kopfe b sind zu merken die Augen c, die Lippe d, zwei Teilchen ee, die später zu Fühlern werden und zwei Teilchen ff unter jenen, die gleichsam gegliedert zu sein scheinen. Aus ihnen wachsen mit der Zeit die Freſswerkzeuge hervor. Zwischen beiden Teilchen ff

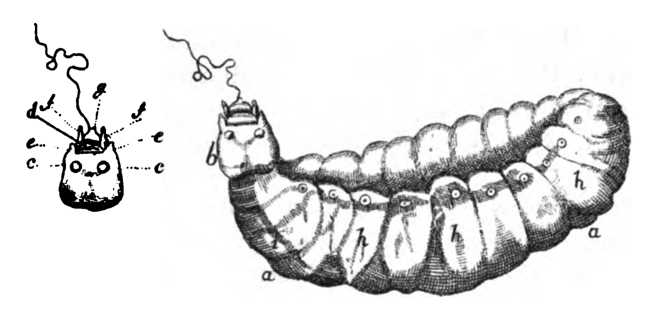



Fig. 15 (Swammerdam, Bibel der Natur. Taf. XXIII, Fig. 14).

und folglich unter der Lippe d ist noch ein anderes hervorragendes Organ g anzumerken, das einer Zunge gleicht und später auch wirklich dazu wird. Darüber zeigt sich noch etwas wie ein kleines Wärzchen; der Wurm sondert durch die Öffnung desselben sein Gespinnst aus, nachdem er genug gefressen hat und im Begriff ist, die Gestalt des Püppchens anzunehmen.

Ich gehe nun zur Zergliederung des Wurmes über. Das beste mir bekannte Verfahren besteht darin, daſs man die Tiere in Spiritus tötet und sie dann unverzüglich zergliedert oder sie in farbigen Flüssigkeiten schwarz, rot etc. werden läſst. Auf diese Weise bekommt man Teile zu Gesicht, die sonst nie oder nicht deutlich genug hervortreten. Denn da der Wurm ganz farblos ist und seine Teile sich folglich nicht unterscheiden lassen, so muſs man zu besagten Kunstgriffen seine Zuflucht nehmen.

Öffnet man nun den Wurm auf der Rückenseite, so quillt einem zuerst eine Flüssigkeit entgegen, die aus den verletzten Adern und dem Herzen kommt. Sie ist das wahre Blut der Insekten. Unter

der Haut trifft man die Muskeln, welche die Ringe des Leibes bewegen; darauf kommt das Fett zum Vorschein und in demselben, mitten auf dem Rücken, das Herz als eine lange den ganzen Rücken bis in den Kopf durchziehende und Gefäfse nach allen Richtungen aussendende Röhre. Im weiteren Verlaufe der Zergliederung erblickt man sogleich unter dem Herzen den mit unzählig vielen Luftröhren umflochtenen Magen. Derselbe ist fleischig und mit einer hochgelben Substanz gefüllt. Hinten am Magen, beim Magenthor (pylorus), zeigen sich vier Gefäfschen, die vermittelst des Fettes und der Luftröhren befestigt sind. Sie sind sehr verschlungen; was sie eigentlich sind und wozu sie dienen, ist schwer zu erraten [1]). Ich habe jedesmal nach langer unverdrossener Mühe gefunden, dafs diese Gefäfse am Ende geschlossen oder blind sind, wie die Blinddärme der Henne. Das habe ich auf folgende Weise entdeckt. Ich fafste den Darm oder das Ende des Magens, wo sie hervorkommen, mit einer kleinen Zange; dann zog ich sie ganz behutsam aus dem Fett, den Häutchen und Luftröhren, welche sie umweben, heraus. Anders lassen sie sich schwer präparieren.

Das Rückengefäfs habe ich seiner Zartheit wegen nicht verfolgen und untersuchen können.

Auf jeder Seite befinden sich 10 Atmungsöffnungen; insgesamt also 20. Sämtliche Luftröhren, welche von diesen Öffnungen in den Körper gehen, stehen beim Bienenwurme in Verbindung. Dies geschieht vermittelst einer Röhre, die von der einen Öffnung zur nächsten, von dieser zur dritten und so fort den ganzen Körper durchzieht. Der Bau dieser Luftröhren ist wunderbar, ja sehr wunderbar; sie bestehen insgesamt aus sehr dicht neben einander befindlichen Ringen, welche durch sehr dünne Häutchen mit einander verbunden sind. Die Luftröhren stehen immer offen, wie bei uns Menschen und den höheren Tieren die Luftröhren besonders oben, wo sich die Knorpelringe befinden, allezeit offen stehen. Auch ist bezüglich der Luftröhren noch zu bemerken, dafs sie alle Teile des Körpers, selbst das Gehirn und das Auge, durchsetzen, wie ich noch näher bei der Zergliederung dieses unergründlichen Kunst- und Meisterstückes des grofsen Baumeisters zeigen werde.

Die 6. Abbildung der XXIV. Kupfertafel (siehe Fig. 16) stellt die Eingeweide des Wurmes dar; a a ist der Magen mit

[1]) Es sind dies die Malpighischen Gefäfse, die später in weit gröfserer Zahl auftreten und für Harn absondernde Organe gelten, während ihnen früher wohl die Funktion der Leber, also eine Art Gallenbereitung, zugeschrieben wurde.



unzähligen in ihm eingewurzelten Luftröhrchen dd; b ist die Speiseröhre.

Ferner bemerkt man ringförmige Muskeln, welche den Mageninhalt bewegen; gggg sind die 4 Blinddärme[1]); hh ist der Ort,

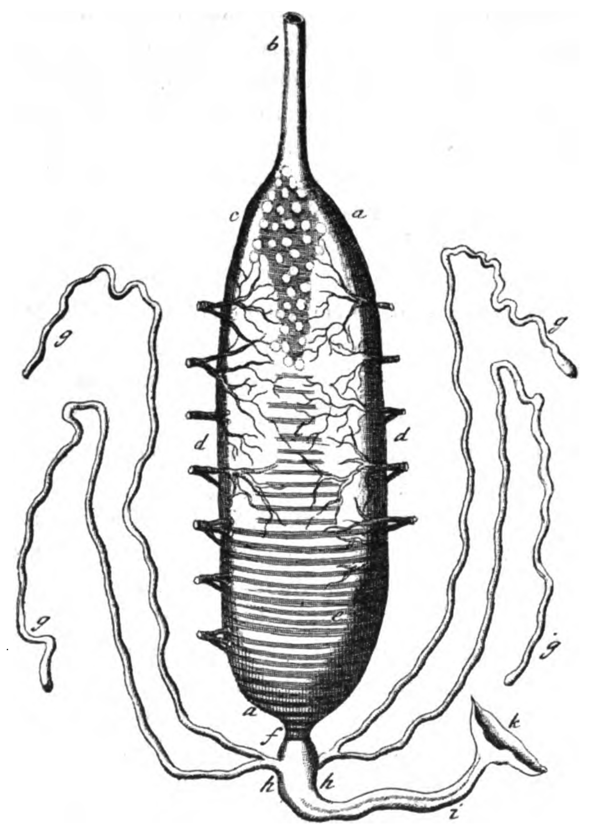



Fig. 16 (Swammerdam, Bibel der Natur. Taf. XXIV, Fig. 6).

wo sie mit der Magenpforte f in Verbindung treten, i aber stellt den darauf folgenden eigentlichen Darm dar.

Die 5. Figur derselben Kupfertafel giebt die Spinndrüsen wieder, in welchen der Spinnstoff bereitet wird.

Die 1. Figur stellt die Luftröhrchen des Bienenwurmes dar. Man erkennt die 20 Öffnungen derselben, desgleichen, wie die Röhrchen von der einen Seite des Leibes zur anderen laufen und

[1]) Die Malpighischen Gefäfse; Siehe die Anmerkung auf der vorigen Seite.

ihre Verzweigungen aussenden. Der Wurm ist hier ganz geöffnet; Eingeweide, Fett und Häute wurden mit Wasser und einem zarten Pinsel sorgfältig ausgewaschen.

Sind die Würmer von den Arbeitsbienen genugsam gefüttert worden, so hören sie mit einem Male auf, Nahrung zu sich zu nehmen, und bespinnen sich von unten bis oben. Ist das Gespinnst fertig, so hat die Arbeiterin wiederum eine neue Arbeit vor sich. Sie mufs nämlich die Würmer sorgfältig in ihren Zellen versiegeln. Geschähe dies nicht, so würde das Gespinnst durch das Hin- und Herlaufen der Bienen leicht eingedrückt und infolgedessen die darunter befindlichen zarten, noch keimenden und kaum gehäuteten Gliedmafsen der Bienen versehrt werden können. Aufserdem hält der Deckel der Zelle auch warm und beschleunigt dadurch die Verwandlung der Puppe in die fertige Biene. Als ich einst einige in diesem Stadium befindliche Würmer bei mir trug, brütete ich sie unvermerkt durch die Wärme meines Körpers aus. Sie wurden aus Püppchen Bienen und liefen in meinem Schächtelchen so hurtig herum, dafs es zu verwundern war.

Hat der Wurm sich eingesponnen, so ruht er völlig und bleibt ohne die geringste Bewegung in seiner angenommenen Stellung. Zergliedert man ihn zu dieser Zeit, so sieht man aufser den oben beschriebenen blinden Gefäfsen an derselben Stelle, wo diese unterhalb der Magenpforte auftreten, eine grofse Menge zarter Gefäfse, die meines Erachtens keine anderen sind als die von Malpighi [1]) an den Seidenwürmern aufgefundenen. Sie sind bei den erwachsenen Bienen viel stärker als jetzt. Hier erhebt sich die Frage, welchem Zwecke doch eigentlich diese blinden Gefäfse dienen, ob sie vielleicht eine besondere Flüssigkeit absondern, der etwa die Aufgabe zufiele, den Darminhalt zu verändern, oder ob sie den Blinddärmen der Vögel entsprechen. [2]) Doch ist selbst bei diesen noch nicht recht ausgemacht, wozu die Blinddärme dienen.

Während nun der Wurm sich im Ruhezustande befindet, schwillt er sehr merklich an der Brust, weniger am Kopfe. Dies rührt daher, dafs die hervorgewachsenen Gliedmafsen allmählich anschwellen. Man sieht dann Beine, Kopf, Brust, Hinterleib und Frefswerkzeuge, ja die ganze Gestalt der zukünftigen Biene durch die Haut hindurchschimmern. Doch sind die Gliedmafsen noch

1) **Malpighi** (1628—1694), einer der Begründer der mikroskopischen Anatomie.

2) Siehe die Anmerkung auf S. 103.



sehr zusammengefaltet, schwach und zart; so sind auch alle Muskelfasern wie Gallerte und so feucht, dafs sie wie Wasser zerfliefsen. Zuletzt bricht die Haut auf, und der Wurm nimmt die Gestalt eines Püppchens an, d. h. er zeigt seine bis dahin verborgenen Gliedmafsen. Man kann sie an ihm deutlicher erkennen als an der Biene selbst, weil sie noch nicht in dem Mafse behaart sind wie nachher. Der Bau der Frefswerkzeuge fällt gleichfalls besser in die Augen als, nachdem die Puppe durch eine noch heutzutage irrtümlich angenommene Wesensverwandlung zur Biene geworden. Bestehen doch alle Verwandlungen der Insekten in nichts anderem als im langsamen Anwachs ihrer Gliedmafsen, so dafs ihre Entwickelung nicht nur mit der Entwickelung anderer Tiere, sondern auch mit derjenigen der Pflanzen übereinstimmt, wie ich im Vorhergehenden ausführlich dargethan habe.

Das kleine Geschöpf ist nun in diesem Zustande wunderbar zart. Die Haut ist von ihm abgestreift, sogar die Luftröhren haben sich von innen gehäutet. Dies geschieht, indem sie ganze Adern und Röhren ausstofsen, so dafs die im Innern abgestreiften Luftröhren in der ihnen eigentümlichen Lage und Gestalt zum Leibe hervordringen. Desgleichen häutet sich auch der Magen, der Mund und das Ende des Darmes; doch ist dies schwierig zu beobachten. Auffällig ist auch, dafs, nachdem der Wurm zum Püppchen geworden ist, alle Gliedmafsen, Flügel, Fühler und Frefswerkzeuge Luftröhren besitzen, welche beim Ausstrecken dieser Teile mit Luft gefüllt werden und zur Ausdehnung der Glieder das Ihrige beitragen.

Nunmehr will ich die Lage der Gliedmafsen im Puppenstadium beschreiben; und zwar will ich die Anordnung der Teile unter der Haut, doch etwas aus ihrer natürlichen Lage gebogen, darstellen.

a ist der Kopf der Puppe, der nunmehr durch die eingedrungene Luft ausgedehnt ist. Dabei ist er und der ganze übrige Leib so weich und zart wie geronnene Milch, wie er auch an Weifse der Farbe der Milch gleichkommt.

bb sind die Augen.

cc sind die aus der Mitte des Kopfes hervorsprossenden Fühler.

d ist die Lippe.

ee ist das erste Kieferpaar.

ff ist das zweite Kieferpaar.

gg sind die gegliederten Anhänge der Frefswerkzeuge; jeder derselben besteht aus drei Gliedern.

h ist die Zunge, wie sie zwischen und unter allen bisher genannten Teilen sehr artig liegt. Alle diese Teile sind mit Luftröhren versehen.

ii ist das erste Beinpaar.

ll das zweite.

mm sind die Flügel der Biene, die aber nur teilweise sichtbar sind. Auch diese haben zahlreiche Luftröhren. Werden dieselben mit Luft gefüllt, so wird der ganze Flügel ausgespannt und wohl 3—4mal gröfser als er gegenwärtig ist.

oo ist das letzte Beinpaar.

pp sind die Ringe des Hinterleibs mit ihren 7 Atemlöchern an jeder Seite.

q stellt den hintersten Teil der Puppe dar, wo der Stachel ein wenig aus dem Leibe hervorragt, sowie die beiden Teilchen, welche den Stachel begleiten. Darunter erblickt man die Öffnung des Darmes.

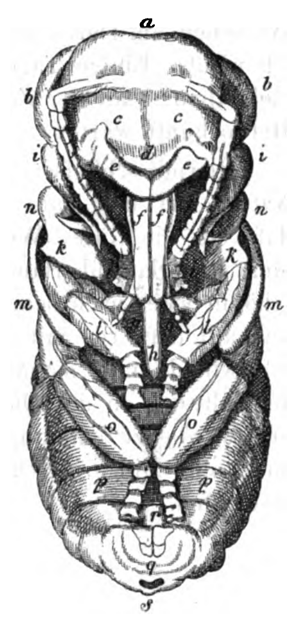


Fig. 17 (Swammerdam, Bibel der Natur, Taf. XXV, Fig. 9).

Haben sich nun die Puppen so lange in ihren wächsernen Häuschen befunden, bis dafs ihre überflüssige Feuchtigkeit ausgedünstet ist, so streifen sie endlich ihre letzte Haut ab. Alsdann durchbrechen sie das Gespinnst und gleichzeitig das Wachs, das sie zackig nach aufsen biegen. Die anderen Bienen nehmen alsdann die Brocken von Wachs und Gespinnst hinweg, so dafs alles reinlich und der obere Rand des Häuschens gleich und eben wird. Auf dieselbe Weise brechen auch die Männchen und Weibchen aus ihren Zellen hervor, wie sie sich auf gleiche Weise verwandeln, doch mit dem Unterschied, dafs die Arbeitsbienen und Männchen mit gefalteten Flügeln hervorkommen und ihre Flügel erst nachher durch hineingetriebene Luft sich ausdehnen müssen. Denn wie schon oben bemerkt, sind die in ihren Flügeln bemerkbaren grofsen Adern eigentlich Luftröhren. Das Weibchen indes kommt nicht mit gefalteten und geschlossenen, sondern mit offenen, ausgebreiteten Flügeln aus seiner Zelle gleichsam schon fliegend hervor. Deshalb hat ihr auch die allweise Natur eine geräumige Behausung angewiesen, in der sie die Flügel gemächlich ausbreiten kann. Die Absicht dabei ist diese: Das Weibchen soll, sobald es sich aus seinem

Häuschen losgebrochen hat, schwärmen oder das alte Weibchen vertreiben, um dessen Stelle einnehmen zu können.

Dafs die übrigen Bienen es merken, wenn das neugeborene Weibchen am Durchbruch seines Häuschens arbeitet, daran zweifle ich nicht. Einige Tage vor dem Schwärmen sieht man nämlich viele Bienen an der Zelle des Weibchens hängen und auf seine Hervorkunft warten.

Hiermit schliefse ich meine Abhandlung über die Bienen, deren Natur, Art und Bau so seltsam, wunderbar und ehrwürdig ist, dafs sie die Güte, Weisheit, Gerechtigkeit und Majestät Gottes ohne Unterlafs überlaut ausposaunen, wie auch alle anderen Geschöpfe jedes nach seiner Art es thun und im Wasser, in der Luft und auf der Erde mit hellen Stimmen das Lob Gottes verkündigen. Ich will deshalb meine Stimme der ihrigen hinzufügen und mit den Ältesten in der Offenbarung des Johannes ausrufen: Du Herr bist würdig zu empfangen Herrlichkeit, Ehre und Kraft, denn Du hast alle Dinge geschaffen und durch Deinen Willen sind sie erschaffen.

# 19. Die Begründung der Pflanzenphysiologie.

## Hales, Versuche die Kraft zu entdecken, welche der Saft im Weinstock zu der Zeit hat, da der Weinstock thränt[1]). 1727.

*Stephan Hales, 1677 in Kent geboren, widmete sich der Theologie, daneben aber mit Vorliebe den Naturwissenschaften; er wurde 1718 Mitglied der Royal Society und starb 1761.*

*Seine Statik der Gewächse (Statical essays) ist eines der hervorragendsten botanischen Werke. Die nachfolgende Übersetzung einiger Abschnitte läfst erkennen, welche Fülle geschickter Versuche und Messungen dasselbe enthält.*

1) Statik der Gewächse oder Versuche mit dem Saft in den Pflanzen von Stephan Hales, ins Deutsche übersetzt, Halle 1748. Der hier gebrachte Abschnitt ist ein Auszug des dritten Hauptstückes, welches mit dem englischen Original verglichen und, wo es erforderlich schien, Abänderungen unterworfen wurde.

## Erster Versuch.

Am 30. März, 3 Uhr nachmittags schnitt ich einen nach Westen gelegenen Weinstock 7 Zoll über der Erde ab. Der übriggebliebene Stumpf, Figur 18 c, besafs keine Äste, er war 4 bis 5 Jahre alt und 3/4 Zoll dick. An der Spitze dieses Stummels befestigte ich vermittelst der Hülse b eine gläserne Röhre b f von 7 Fuss Länge und 1/4 Zoll Durchmesser. Die Fuge b dichtete ich mit einer Masse aus zusammengeschmolzenem Wachs und Terpentin, welche ich herum schmierte und mit nassen Blasen gut bedeckte. Diese Blasen wurden viele Male herumgewickelt und mit Bindfäden fest gebunden. Ich verband eine zweite Röhre f g mit der ersten und fügte an die zweite noch eine dritte g a, sodafs alle drei ein Rohr von 25 Fufs Länge bildeten. Als der Weinstock nicht sogleich trähnte, gofs ich etwa 2 Fufs Wasser in die Röhre, die dann der Stock in sich sog, so dafs abends um 8 Uhr nicht mehr als 3 Zoll davon übrig waren. Den 31. März von morgens bis 10 Uhr abends war der Saft 8 1/4 Zoll gestiegen. Am 1. April, 6 Uhr morgens, als es klares Eis gefroren hatte, war der Saft seit dem vorhergehenden Abend um 3 1/4 Zoll gestiegen. Auf solche Art stieg er täglich fort bis zu 21 Fufs Höhe; vermutlich würde er noch höher gekommen sein, wenn die Fuge b nicht bisweilen Wasser hätte durchtreten lassen. Nachdem dieselbe gestopft war, stieg der Saft mitunter so sehr, dafs es in drei Minuten einen Zoll ausmachte. Während der Zeit, dafs der Wein am stärksten zu trähnen pflegt, stieg der Saft Tag und Nacht, am Tage aber mehr als nachts, und am meisten während der heissen Tageszeit.

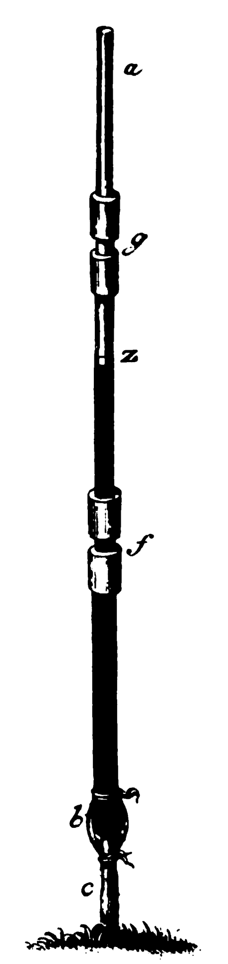


Fig. 18 (Hales, Statik der Gewächse, Tab. IV, Fig. 17.)

Dieser Versuch zeigt die grofse Kraft, die in der Wurzel ihren Sitz hat und den Saft in die Höhe treibt, wenn der Weinstock thränt. Ich wollte weiter untersuchen, ob ich diese Kraft

noch im Weinstock antreffen würde, wenn die Zeit des Thränens vorüber ist und stellte dazu folgenden Versuch an.

### Zweiter Versuch.

Am 4. Juli nachmittags schnitt ich einen Weinstock drei Zoll über der Erde ab, verband den Stummel mit einer Röhre von 7 Fufs Länge, wie im vorigen Versuch, und füllte sie mit Wasser. Von diesem Wasser sog die Wurzel am ersten Tage jede Stunde einen Fufs in sich. Den zweiten Tag sog sie viel weniger und langsamer, jedoch fiel das Wasser alle Tage. Unterdessen bemerkte ich an einem Weinstocke, der im Blumenstopfe stand, dafs eine sehr grofse Menge Saft alle Tage durch den Stamm ging, um die Transpiration der Blätter zu unterhalten. Wenn also dieses bedeutende Quantum durch eine in den Wurzeln beständig wirkende Kraft in die Höhe getrieben worden wäre, so hätte sie auch bei diesem Versuche in die Höhe getrieben werden müssen, und folglich hätte der Saft aus dem Stamme in die Röhre steigen müssen.

Dafs aber diese Saftströmung sogleich aufhört, wenn der Weinstock von seinem Stamme abgeschnitten ist, rührt offenbar daher, dafs der vornehmste Grund des Saftsteigens, nämlich die starke Transpiration der Blätter, zerstört worden ist.

### Dritter Versuch.

Am 6. April vormittags um 9 Uhr schnitt ich einen Weinstock, a in Fig. 19, der gegen die Mittagssonne stand, 2 Fufs 9 Zoll über der Erde ab. Der Stummel a b besafs keine Zweige und war 7/8 Zoll dick. Daran befestigte ich die Röhre a y und gofs in dieselbe Quecksilber. Um 11 Uhr vormittags war das Quecksilber bis z gestiegen und stand 15 Zoll höher als im Schenkel x, wo die Kraft des aus dem Stamme dringenden Saftes es zu fallen nötigte. Um 4 Uhr nachmittags war das Quecksilber einen Zoll in dem Schenkel z y gefallen. Am 10. April morgens 7 Uhr stand es 18 Zoll

Fig. 19 (Hales, Statik der Gewächse. Tab. IV, Fig. 18).

hoch und ich gofs neues Quecksilber zu dem, das schon in der Röhre war, so dafs das Niveau bei z 23 Zoll höher stand als dasjenige bei x. Dieses neue Gewicht trieb nur sehr wenig Saft in den Stamm zurück, und daraus läfst sich genugsam ersehen, mit welcher Kraft der Saft aus dem Stamme dringt. Mittags war das Quecksilber um einen Zoll gefallen. Am 14. April früh 7 Uhr stand es 20¹/₄ Zoll hoch. Um 9 Uhr morgens bei hellem Sonnenschein und genügender Wärme 22¹/₂ Zoll. Hieraus erkennen wir, dafs die Vormittagswärme der Sonne dem Safte eine neue Kraft verleiht. Um 11 Uhr vormittags an demselben Tage stand das Quecksilber nur 16¹/₂ Zoll hoch. Die grofse Ausdünstung des Stammes hatte dieses Sinken bewirkt.

Am 17. April 11 Uhr vormittags war Regen und Wärme. Die Quecksilberhöhe betrug 24¹/₂ Zoll. Um 7 Uhr nachmittags, bei sanftem Regen und warmem Wetter stand das Quecksilber auf 29¹/₂ Zoll. Eben dieser Regen verursachte, dafs der Saft den ganzen Tag über stieg, weil Regenwetter die Ausdünstung verringert.

Am 18. April früh 7 Uhr betrug die Höhe 32¹/₂ Zoll und würde noch mehr betragen haben, wenn mehr Quecksilber in der Röhre gewesen wäre. Vom 18. April an bis zum 5. Mai nahm die Kraft des Saftes nach und nach ab. Als die Quecksilberhöhe 32¹/₂ Zoll betrug, war diese Kraft dem Drucke einer 36 Fufs 5 Zoll hohen Wassersäule gleich. In einer anderen der ersten gleichen Röhre, die am Fufse eines Weinstocks befestigt war, erhob diese Kraft des Saftes das Quecksilber auf 38 Zoll, was dem Drucke einer 43 Fufs 3 Zoll hohen Wassersäule entspricht.

Diese Kraft ist etwa fünfmal so grofs wie der Druck des Blutes in der grofsen Pulsader auf dem Schienbeine des Pferdes und siebenmal gröfser als der Blutdruck in eben dieser Ader beim Hunde. Den verschieden grofsen Druck des Blutes ermittelte ich dadurch, dafs ich die Tiere lebend auf dem Rücken festband und die linke grofse Pulsader auf dem Schienbein öffnete. Darauf verband ich mit dieser Arterie vermittelst zweier Messingröhren ein Glasrohr von 10 Fufs Länge und ¹/₈ Zoll Durchmesser. In diesem Rohr stieg das Blut eines Pferdes 8 Fufs 3 Zoll, dasjenige eines kleinen Hundes dagegen 6¹/₂ Fufs hoch empor.

### Vierter Versuch.

Am 10. März, als die Zeit des Thränens begann, schnitt ich von einem Weinstock, b f c g in Fig. 20, einen Ast ab, der 3—4 Jahre

alt war und kittete an den Stummel b eine kupferne Hülse, mit welcher ich das gläserne Rohr z von 7 Fufs Länge und 1¼ Zoll Durchmesser wohl verband. An diese erste Röhre fügte ich noch andere und das Ganze erstreckte sich bis zu 38 Fufs Höhe. Sie wurden alle durch hölzerne Kanäle gestützt und gehalten, deren eine Seite sich wie eine Thür am Schranke öffnen liefs. Diese hölzernen Behälter dienten dazu, die gläsernen Röhren gegen den Frost zu schützen, der sonst des Nachts den Saft in Eis verwandelt und das Glas unfehlbar zerbrochen haben würde. Die Weinstöcke, auf welche ich meine Röhren bei diesem Versuche gebracht, waren von der Wurzel bis zum Gipfel 20 Fufs hoch, die Röhren dagegen

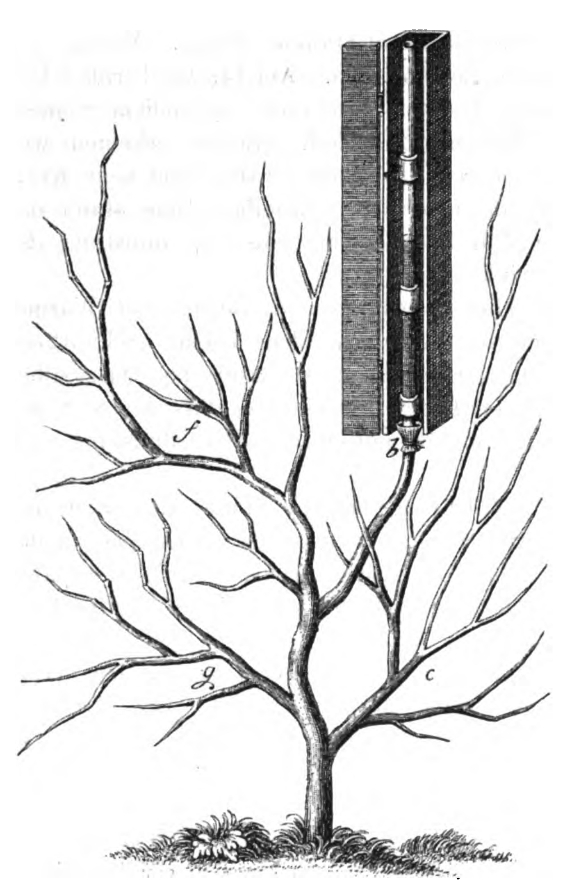


Fig. 20 (Hales, Statik der Gewächse. Tab. V, Fig. 20).

waren in verschiedenen Höhen von 2 — 6 Fufs über der Erde fest gemacht. Am ersten Tage stieg der Saft nach Mafsgabe der Kräfte im Weinstock 1, 2, 5, 12, 15 oder 25 Fufs; er fiel jedoch immer gegen die Mittagszeit. War der Mittag gar frisch, so fiel der Saft nur von 11 oder 12 bis um 2 Uhr. Wenn es aber sehr warm war, fing er um 9 oder 10 Uhr vormittags an zu fallen, und dies dauerte bis 4, 5 oder 6 Uhr abends. Darauf stand er eine oder zwei Stunden still; hierauf fing er langsam an zu steigen, jedoch so lange es Nacht war sehr

wenig bis zum Sonnenaufgang. Hierauf hob er sich aber geschwinder und höher als zu jeder anderen Tageszeit. Je frischer der Schnitt am Weinstock war und je wärmer das Wetter, um so mehr stieg und fiel der Saft innerhalb eines Tages, und zwar bis zu 4 oder 6 Fufs.

War veränderliches Wetter, so sah man den Saft am Morgen, während er sonst stieg, augenscheinlich fallen, so lange die Sonne mit Wolken bedeckt war. Wenn das Gewölk lange genug die Sonne verdeckte, fiel er mehrere Zoll. Sobald aber die Wolke den Sonnenstrahlen Platz machte, fing der Saft sogleich wieder an zu steigen, gerade wie die Flüssigkeit im Thermometer mit den Schwankungen der Temperatur steigt und fällt.

An den rings um meinen Vorsaal gepflanzten Weinstöcken hatte ich 3 Röhren angebracht, eine gegen Osten, die andere gegen Mittag, die dritte gegen Westen. Der Saft fing Morgens an, sich zuerst in der nach Osten liegenden Röhre zu erheben, dann folgte die an der Südseite, zuletzt die im Westen. Um die Mittagszeit fiel er zuerst im Osten, darauf im Süden, zuletzt im Westen. Regen und mäfsige Wärme nach einem trockenen und kalten Tage machten, dafs der Saft am folgenden Tage beständig stieg und mittags statt des Fallens nur eine Verlangsamung im Steigen eintrat.

Im ersten Versuch, als ich eine Röhre an einem sehr kurzen Stummel eines Weinstocks angebracht hatte, der keine Zweige besafs, sahen wir, dafs der Saft ununterbrochen den ganzen Tag stieg, und zwar am geschwindesten während der heissesten Tageszeit. Beim zweiten Versuch fiel dagegen der Saft beständig und zwar in dem Mafse, wie gegen die Mittagszeit die Wärme zunahm. Wenn man sich der starken Ausdünstung der Bäume erinnert, so mufs man hieraus schliefsen, dafs das Niederfallen des Saftes von der Transpiration der Äste herrührt, welche mittags stärker als zu jeder anderen Tagesstunde ist, mit der Hitze gegen Abend abnimmt und vermutlich nachts, wenn der Tau fällt, ganz aufhört. Ende April hat der Weinstock infolge der Entfaltung vieler Blätter eine weit gröfsere Fläche bekommen. In demselben Mafse nimmt die Ausdünstung zu und der Überflufs an Saft, der bisher durch Austrähnen seinen Weg gesucht hat, hört wieder bis zum folgenden Frühjahr auf.

Ebenso geht es mit allen Bäumen, die wie der Weinstock auslaufen oder trähnen. Dies hört nämlich auf, sobald die jungen Blätter ausgedehnt genug sind und kräftig transpirieren. Auch sehen wir, dafs die Rinde von Eichen und vielen anderen Bäumen

im Frühjahr leicht infolge einer Schlüpfrigkeit losgeht, welche von dem Überfluſs an Saft herrührt. Sobald aber die Blätter Fläche genug haben, um diesen Saft durch Ausdunsten von sich geben zu können, geht die Rinde nicht mehr so leicht los, sondern schlieſst sich fest um das Holz.

---

# 20. Celsius führt die hundertteilige Thermometerskala ein. 1742.

## Celsius, Beobachtungen von zwei beständigen Punkten auf einem Thermometer[1]).

*Anders Celsius (1701—1744), war Professor der Astronomie in Upsala.*

Die Thermometer sind jetzt bei uns sehr im Gebrauch. Die gemeinsten sind die sogenannten florentinischen, welche aus Deutschland nach Schweden kommen und alle insofern nichts nutze sind, als sie kein gewiſses Maſs der Grade der Wärme und Kälte geben und auſserdem bei einerlei Wärme nicht einerlei Grad zeigen.

Diese Fehler hat man zu verbessern angefangen, teils daſs man an den Thermometern einen beständigen Punkt gesucht und davon die Grade gerechnet hat, von denen jeder z. B. ein $^1/_{100{,}000}$ der ganzen Masse des Weingeistes oder Quecksilbers im Glase beträgt; oder man hat zwei beständige Punkte in einer gewissen Entfernung von einander gefunden, welche man, ohne sich um die ganze Masse zu bekümmern, in eine gewisse Anzahl Grade geteilt hat.

Ich für mein Teil finde keine bequemere Art, die Grade auf einem Thermometer abzuteilen, als einige Punkte der Höhe des Quecksilbers zu bestimmen, und zwar die Punkte, bei denen das Wasser kocht und zu frieren anfängt, und danach die Grade zu verzeichnen.

---

1) Abhandlungen der schwedischen Akademie. IV. Bd. 1742. Eine deutsche Übersetzung von Kästner (1750), die hier zu Grunde gelegt wurde, ist im 57. Bändchen von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften enthalten (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894). Dort findet man auch die Arbeiten Fahrenheits und Réaumurs, sämtlich herausgegeben von A. J. v. Oettingen.

Was den Punkt des Gefrierens angeht, so hat Réaumur denselben bei warmer Witterung mit einer künstlich gemachten Kälte bestimmt.[1] Andere haben warmes Wasser im Winter in die Kälte gesetzt und das Thermometer so lange darin gelassen, bis es zu frieren anfing und das Wasser sich oben mit einer Eiskruste überzog. Diese Art kann nicht sehr fehlen, wenn sie mit Achtsamkeit angestellt wird. Doch habe ich daraus, dafs niemand leugnen wird, das Wasser habe einerlei Grad der Kälte, wenn es zu gefrieren anfängt, wie das Eis, das wieder zu zerschmelzen beginnt, gefunden, der Punkt des gefrierenden Wassers lasse sich am genauesten und bequemsten bestimmen, wenn man das Thermometer in klebrichtem Schnee wenigstens eine halbe Stunde stehen lässt.

Diese Versuche habe ich zwei Jahre in allen Wintermonaten bei allerlei Wetter und mancherlei Veränderungen des Barometers wiederholt und allezeit genau eben denselben Punkt am Thermometer gefunden. Ich habe nicht allein wie Newton das Thermometer in klebrichten Schnee gesetzt, sondern auch bei starker Kälte kalten Schnee in mein Zimmer ans Feuer gebracht, bis er klebricht wurde. Ich habe auch einen Kessel mit klebrichtem Schnee nebst dem Thermometer in einen geheizten Ofen gesetzt und allezeit gefunden, dass es einerlei Punkt gewiesen, so lange der Schnee dicht um die Thermometerkugel lag. Überdies, damit niemand daran zweifelt, dafs der Schnee an allen Orten einerlei Wärmegrad bis zum Schmelzen erhalte, habe ich in Torneå, 6 Grad näher dem Pole als Upsala, mit demselben Thermometer, nämlich demjenigen Réaumurs, genau eben den Punkt bemerkt, der $^1/_5$ Grad über dem von ihm angemerkten Gefrierpunkt war. Daraus erhellt, dafs in Paris, welches der Linie 17 Grad näher liegt als Torneå, das Wasser bei demselben Grad gefriert. Der kleine Unterschied von $^1/_5$ Grad läfst sich Réaumurs Art, den Gefrierpunkt zu finden, zuschreiben.

Was den anderen beständigen Punkt betrifft, so ist bekannt genug, dafs das Wasser keinen höheren Hitzegrad annimmt, nachdem es einmal zu kochen angefangen hat, so lange man auch mit dem Sieden fortfährt, sodafs das Quecksilber im Thermometer allezeit einerlei Punkt zeigt.

Doch hat Fahrenheit beobachtet, dafs der Punkt des kochen-

[1] Réaumur benutzte eine Kältemischung aus zerstofsenem Eis und Salpeter oder Kochsalz, in diese brachte er das Gefäfs mit Wasser, welches das Thermometer enthielt.

den Wassers, bei dem das Quecksilber im Thermometer stehen bleibt, zu der Quecksilberhöhe im Barometer in Beziehung steht. Ich habe gleichfalls diese merkwürdige Beobachtung bei verschiedenen Barometerhöhen sehr genau angestellt und gefunden, dafs die Versuche Fahrenheits ihre Richtigkeit haben.

Wenn also der Punkt des kochenden Wassers beständig bleiben soll, so wird erfordert eine gewisse Barometerhöhe zu bestimmen, mit dem er allezeit in Verbindung gesetzt wird. Da nach allen Beobachtungen, sowohl in Schweden als anderswo in Europa, die mittlere Höhe des Barometers 25 Zoll 3 Linien beträgt, so ist es am besten, den Punkt zu nehmen, den das Thermometer bei besagter Barometerhöhe angiebt.

Hat man diese beiden beständigen Punkte gefunden, die bei empfindlichen Thermometern in ansehnlicher Weite von einander abstehen, so lassen sich die Grade am besten auf folgende Art bezeichnen, wobei man sicher geht, dafs verschiedene solche Thermometer in einerlei Luft allezeit einerlei Grad weisen werden, und dafs z. B. ein Thermometer, das in Paris gemacht worden, bei gleicher Wärme auf eben der Höhe stehen wird, die ein Thermometer, das zu Upsala gemacht worden, anzeigt.

1. Man setzt den Cylinder des Thermometers in klebrichten Schnee und bemerkt genau den Punkt des gefrierenden Wassers C.
2. Wird der Punkt des kochenden Wassers D bei einer Barometerhöhe von 25 Zoll und 3 Linien bemerkt.
3. Die Strecke CD wird in hundert gleiche Teile oder Grade geteilt. Führt man eben diese Grade unter C fort, so ist das Thermometer fertig.

---

# 21. Das künstliche Pflanzensystem Linnés.

## Allgemeine Betrachtung und Einteilung der Pflanzen[1]).

*Carl Linnaeus, später von Linné genannt, wurde 1707 zu Råshult in Schweden geboren. Nachdem er Lappland durchforscht und sich in Holland, England und Frankreich aufgehalten hatte, wurde er 1741 Professor der Botanik in Upsala; er starb 1778.*

1) Des Ritters Carl von Linné vollständiges Pflanzensystem nach der 13. lateinischen Ausgabe übersetzt. Nürnberg 1777.



*In Linné finden wir die rein beschreibende, systematische Richtung der Botanik verkörpert. Seine ausschliefslich auf die Zahl und Beschaffenheit der Blütenorgane gegründete Einteilung des Pflanzenreichs ist der Typus eines künstlichen Systems. Für die schnelle Bestimmung der Pflanzen ist dasselbe noch heute von Wert.*

Durch ihre organische Struktur, durch die Art und Weise ihrer Erzeugung, ihres Lebens und Wachstums unterscheiden sich die Pflanzen von den Mineralien und haben in diesen Stücken eine grofse Ähnlichkeit mit den Tieren, von welchen sie sich jedoch durch den gänzlichen Mangel der Empfindung und willkürlicher Bewegung wesentlich unterscheiden. Es ist indessen nicht zu läugnen, dass diese Grenzen zwischen dem Tier- und Pflanzenreich zuweilen sehr undeutlich sind, indem bei einigen Pflanzen gewisse Erscheinungen vorkommen, welche leicht Anlafs geben könnten, denselben eine Art von Empfindung oder freiwilliger Bewegung zuzuschreiben. Einige Pflanzen drehen ihre Stengel, Blätter oder Blumen nach dem Lichte und nach dem Laufe der Sonne; andere öffnen und schliefsen ihre Blumen täglich zu bestimmten Zeiten und richten sich darin entweder nach der Beschaffenheit und Veränderung des Wetters oder nach dem Auf- und Untergang der Sonne oder thun solches schlechterdings, ohne sich an diese Umstände zu binden, zu gewissen Stunden, sodafs sie dadurch die Tageszeit zuverläfsig anzeigen[1]). Wieder andere legen zur Nachtzeit ihre Blätter zusammen und falten sie des Morgens wieder auseinander, was man den Schlaf der Pflanzen nennt. Ferner bemerkt man sogar einige Pflanzen, welche bei einer Berührung ihre Blätter zusammenlegen und nachher wieder aus freien Stücken ausbreiten, wovon die Dionaea muscipula (Venusfliegenfalle) und verschiedene Arten der Mimosa Beispiele geben. Eine solche Reizbarkeit besitzen auch die Staubfäden vieler Blumen besonders aus der Klasse der Syngenesia[2]).

Das Aufspringen der reifen Samenkapseln bei einigen Gewächsen[3]) läfst sich wohl eher aus mechanischen Ursachen begreifen.

---

1) Dies Verhalten führte Linné dazu, eine Art Blumenuhr zusammenzustellen. Die Cichorie z. B. öffnet ihre Blüten zwischen 4 und 5 Uhr Morgens, der Löwenzahn zwischen 5 und 7, die weifse Seerose nach 7 u. s. w.

2) Linnés 19. Klasse der Syngenesia, so genannt, weil die Staubbeutel der unter diesem Namen vereinigten Pflanzen zu einer Röhre verwachsen sind, fällt mit der Familie der Kompositen oder Korbblüter zusammen. Die Staubfäden vieler Kompositen verkürzen sich bei Berührung oder Erschütterung.

3) z. B. beim Springkraut (Impatiens noli tangere L.)

Aber auch um der oben erwähnten Erscheinungen willen kann man den Pflanzen keine wahre Empfindung und noch viel weniger freiwillige Bewegungen zueignen. Obschon die bisherigen Versuche, dieselben aus mechanischen Ursachen zu erklären, vergeblich gewesen sind, so wäre doch der Schlufs, dafs Empfindung und Willkür der Grund davon seien, zu voreilig. Letztere beiden Eigenschaften mufs man als Vorzüge der beseelten Geschöpfe allein betrachten, wenn man die Begriffe nicht ohne Not verwirren will.

Die Vermehrung erfolgt bei den Pflanzen auf zwei Arten: 1. Durch Samenbildung, 2. durch Schöfslinge, Pfropfreiser, Teilung und dergleichen.

Die Samen enthalten bereits eine neue Pflanze im Kleinen in sich, welche aber solange unentwickelt bleibt, bis sie in ein taugliches Erdreich kommt, worin sie durch die Feuchtigkeit und Wärme zum Wachstum gebracht wird. Sie haben viel Ähnlichkeit mit den Eiern der Vögel und anderer Tiere und entstehen auch nach den nämlichen Gesetzen der Zeugung, welche im Tierreiche statt haben, wie solches heute zuverläfsig ausgemacht ist. Dafs bei den Pflanzen zweierlei Organe, männliche und weibliche vorhanden seien, deren wechselseitige Wirkung zur Hervorbringung eines fruchtbaren Samens erforderlich ist, haben zwar einige Philosophen des Altertums schon gemutmafst, auch zu Ende des vorigen Jahrhunderts Grew[1]) und Camerer[2]) durch Beobachtungen zu bestätigen gesucht, aber erst in unseren Zeiten ist die Sache zur völligen Gewifsheit gebracht worden[3]).

Die Anzahl der Pflanzenarten, die sich auf unserer Erde befinden, wird auf zehntausend geschätzt; doch sind vermutlich noch manche unbekannte übrig, welche erst mit der Zeit entdeckt werden können[4]). Wenn man aber auch nur die gedachte Menge annimmt, so läfst sich begreifen, dafs es unmöglich wäre, zu einer gewifsen Kenntnis derselben zu gelangen, wenn nicht der Verstand

1) Grew, englischer Botaniker (1628—1711), begründete mit Malpighi die Pflanzenanatomie.

2) Camerarius (1665—1721), Direktor des botanischen Gartens in Tübingen, hat die Lehre von der Sexualität der Pflanzen durch Versuche begründet. Näheres darüber Siehe Bd. II.

3) Durch Kölreuter (1733—1806), Professor der Naturgeschichte in Karlsruhe. Siehe Kölreuters vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen; Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 41.

4) Neuere Schätzungen geben die Gesamtzahl der Pflanzenarten nach Hunderttausenden an.

dem Gedächtnis zu Hilfe käme und demselben einen Leitfaden verschaffte, wonach es sich bei der Unterscheidung von so vielerlei Arten richten kann. Dieser Leitfaden besteht in der Entdeckung und Festsetzung gewisser wesentlicher Kennzeichen einer jeden besonderen Art und einer danach verfertigten Einteilung der gesamten Arten. Ohne Zweifel kommt es dabei vornehmlich auf eine genaue Bestimmung der Arten an und dann auf eine geschickte und scharfsinnige Vereinigung derselben zu Gattungen, welche dann nach weiteren gemeinschaftlichen Ähnlichkeiten in Ordnungen und Klassen zusammengefügt werden.

Man hat daher schon vor ungefähr 200 Jahren, bald nach der Wiederherstellung der Wissenschaften, die Notwendigkeit erkannt, von den Pflanzen systematische Verzeichnisse anzulegen. Dem Linnéischen System, dessen ausführliche Erklärung jetzt erfordert wird, um die Pflanzen im folgenden nach demselben abzuhandeln, ist die Betrachtung derjenigen Teile der Blüte, welche die Zeugungsteile ausmachen, nämlich der Staubfäden und Stempel zu Grunde gelegt.

Der sogenannte Schlüssel, wonach in diesem System das ganze Pflanzenreich in Klassen eingeteilt wird, ist dieser:

## A. Pflanzen mit Blüten.

Aa. Mit lauter Zwitterblüten.

aa. Mit freien Staubfäden.

aaa. Mit Staubfäden von unbestimmter Länge.

1. Klasse mit einem Staubfaden Monandria.
2. „ „ zwei Staubfäden Diandria.
3. „ „ drei „ Triandria.
4. „ „ vier „ Tetrandria.
5. „ „ fünf „ Pentandria.
6. „ „ sechs „ Hexandria.
7. „ „ sieben „ Heptandria.
8. „ „ acht „ Octandria.
9. „ „ neun „ Enneandria.
10. „ „ zehn „ Decandria.
11. „ „ 12—19 „ Dodecandria.
12. „ „ 20 oder mehr Staubfäden, welche nicht auf dem Fruchtboden, sondern auf der inneren Seite des Kelches sitzen Icosandria.

13. Klasse mit 20 oder mehr Staubfäden, welche auf dem Fruchtboden sitzen . . . . . . Polyandria[1].

abb. Mit Staubfäden von bestimmter Verschiedenheit in der Länge.

14. Klasse, Pflanzen mit vier Staubfäden, von denen zwei neben einander stehende länger, und zwei kürzer sind . . . . . Didynamia.

15. Klasse, Pflanzen mit sechs Staubfäden, von denen vier länger, zwei einander gegenüberstehende aber kürzer sind . . . . . Tetradynamia[2].

ab. Mit verwachsenen Staubfäden oder Staubbeuteln.

16. Klasse, Pflanzen mit Staubfäden, welche unten zusammengewachsen sind . . . . . Monadelphia.

17. Klasse, Pflanzen, deren Staubfäden zu zwei Bündeln verwachsen sind . . . . . . Diadelphia.

18. Klasse, Pflanzen, deren Staubfäden zu drei oder mehr Bündeln verwachsen sind . . . . . Polyadelphia[3].

19. Klasse, Pflanzen, deren Staubbeutel zu einem Cylinder zusammengewachsen sind . . . Syngenesia[4].

---

[1]) Verdeutscht lauten die Namen der ersten zehn Klassen Ein-, Zwei-, Drei- u. s. w. Zehnmännige, der 11. Klasse Zwölfmännige, der 12. Klasse Zwanzigmännige, der 13. Vielmännige.

Manche Klassen des Linnéschen System, das sich wegen seiner Brauchbarkeit zum Bestimmen der Pflanzen neben dem in der Wissenschaft allein geltenden natürlichen System erhalten hat, fallen mit den Familien des letzteren ganz oder teilweise zusammen. So die 12. Klasse mit den Mandel-, Apfelbaum- und Rosengewächsen und die 13. Klasse mit den Mohn- und Hahnenfufsgewächsen.

[2]) Die 14. Klasse (Zweimächtige) umfafst die Mehrzahl der Lippenblüter, die 15. Klasse (Viermächtige) fällt mit der Familie der Kreuzblüter zusammen.

[3]) 16., 17., 18. Klasse = Ein-, Zwei-, Vielbrüdrige. Für die 16. Klasse bieten die Malven, für die 18. das Johanniskraut ein Beispiel.

[4]) Zusammengewachsene. Siehe Anmerkung [2]) auf Seite 117.

20. Klasse, Pflanzen, deren Staubfäden mit den Griffeln verwachsen sind . . . . . . Gynandria[1]).

Ab. Mit getrennten Geschlechtern.

21. Klasse, männliche und weibliche Blüten befinden sich an einer Pflanze . . . . . . . . . Monoecia.

22. Klasse, männliche und weibliche Blüten befinden sich jede auf einer besonderen Pflanze . . Dioecia[2]).

23. Klasse, aufser den Zwitterblumen befinden sich noch männliche oder weibliche Blüten oder beide zugleich an einer oder an verschiedenen Pflanzen . . . . Polygamia[3]).

## B. Pflanzen, bei denen weder Staubfäden noch Stempel, welche bei den übrigen Pflanzen wesentliche Teile der Blüte sind, in die Augen fallen.

24. Klasse . . . . . . . . Cryptogamia[4]).

---

1) Weibermännige; hierzu gehören die Orchideen.

2) 21. und 22. Klasse = Einhäusige und Zweihäusige; für die ersteren bieten die Kiefern, für die zweiten die Weiden bekannte Beispiele.

3) Vielehige; hierher gehören die Ahornarten.

4) Blütenlose. Linné teilte dieselben in Algen, Schwämme, Moose und Farnkräuter ein. Für die weitere Einteilung der Klassen 1—23 in Unterabteilungen, welche Linné Ordnungen nannte, waren vor allem die Zahl der Griffel, die Beschaffenheit der Früchte und die Anordnung der Blüten mafsgebend.

# 22. Die Polypen werden als tierische Organismen erkannt.

## Trembleys Versuche mit dem Süfswasserpolypen. 1744[1]).

*Abraham Trembley wurde 1710 in Genf geboren und starb daselbst im Jahre 1784. Seine merkwürdigen Beobachtungen an den Süfswasserpolypen erregten grofses Aufsehen und förderten die Einsicht in die Lebenserscheinungen der niederen Tiere in hohem Mafse.*

*Die Süfswasserpolypen sind cylindrische 1—2 cm lange Tiere unserer Gewässer, deren Mundöffnung von einem Tentakelkranz umgeben ist. Sie gehören zum Kreise der Pflanzentiere oder Darmlosen, sind also nahe verwandt mit den Korallentieren, Schwämmen und Seerosen.*

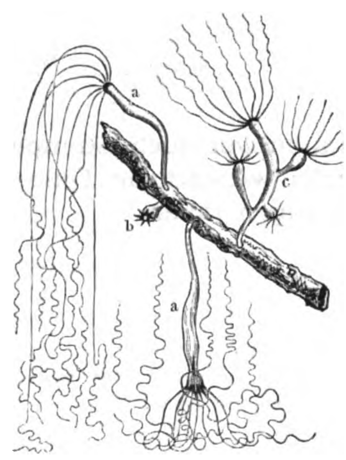



Fig. 21 (Aus Leunis, Synopsis, II. Bd. 3. Aufl.)
Der Süfswasserpolyp mit Knospen (c) auf einer Wasserpflanze.

*Sie leben von Würmern und kleinen Krebstieren, welche sie mit den Tentakeln ergreifen, und vermögen gleich den Seerosen auf ihrer Unterlage gleitend fortzukriechen. Ganz aufserordentlich ist ihr Reproduktionsvermögen, wie aus der nachfolgenden Schilderung Trembleys hervorgeht. Man unterscheidet nach Farbe, Länge der Arme u. s. w. etwa 10 Arten.*

Um einen Polypen quer zu durchschneiden, lege ich ihn in einen Wassertropfen in die hohle linke Hand. Anfangs zieht er sich stark zusammen. Dann halte ich

[1]) Trembleys Abhandlungen zur Geschichte einer Polypenart des süfsen Wassers mit hörnerförmigen Armen. Aus dem Französischen übersetzt von Goeze. Quedlinburg 1775. Der hier gebotene Abschnitt ist eine gekürzte Wiedergabe der vierten Abhandlung S. 317 u. f. Die Übersetzung wurde mit dem französischen Original verglichen und, wo es erforderlich schien, Abänderungen unterzogen. Der Titel des Originals lautet: Mémoires pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce à bras en forme de cornes par A. Trembley. Leide 1744.

die Hand einen Augenblick ganz still, um ihm Zeit zum Ausstrecken zu lassen. Wenn er sich nach Wunsch ausgestreckt hat, fahre ich mit einem Schenkel der Schere ganz sacht unter den Ort, wo er zerschnitten werden soll, drücke die Schere zu und betrachte gleich nach dem Schnitt die beiden Hälften mit der Lupe, um zu sehen, wie die Operation abgelaufen ist. Die beiden Hälften des Polypen ziehen sich anfangs zusammen, doch bleiben sie so nicht lange, sondern strecken sich bald mehr bald weniger aus. Der Kopf des oberen Stückes ist der Kopf des zerschnittenen Polypen selbst. Je mehr sich dies erste Stück streckt, umso mehr verschliefst sich die hinten befindliche Öffnung; das Hinterende wird schmäler wie beim vollkommenen Polypen. Im Sommer geschieht es oft, dafs dies erste Stück noch an demselben Tage wieder frifst und umherkriecht.

Das zweite Stück ist, nachdem es sich ausgestreckt hat, am vorderen Ende offen. Dieses Ende ist mehr oder weniger aufgetrieben, bis die Reproduktion, die hier eintreten soll, zustande gekommen ist. Nie habe ich ein unteres Stück gesehen, welches vor Beendigung dieser Reproduktion von der Stelle gekommen wäre. Anfangs sieht man die Spitzen von drei oder vier Armen, welche am Rande des vorderen Endes hervortreten. Während diese wachsen, zeigen sich schon andere in den Zwischenräumen derselben; bevor letztere völlig ausgewachsen sind, können die Tiere schon ihre Beute fangen. Diese Reproduktion richtet sich nach der Witterung. Ist es kalt, so erfolgt sie langsamer, in der Wärme geht sie schneller von statten. An sehr warmen Tagen habe ich die unteren Hälften nach 24 Stunden schon wieder Arme treiben sehen; nach zwei Tagen waren sie schon imstande zu fressen. Sobald die Schwanzhälfte einen Kopf bekommen, d. h. sobald der Mund sich gebildet hat und die Arme entstanden sind, sieht sie ebenso vollkommen aus wie die vordere Hälfte, ja wie ein Polyp, der nie zerschnitten gewesen, und beide können nun als vollkommene Polypen betrachtet werden, denn sie haben alle diesen Tieren zukommenden Eigenschaften. Sie machen alle Bewegungen, deren das Tier fähig ist; sie fangen ihre Beute, ernähren sich, wachsen und pflanzen sich fort.

Zerschneidet man den Polypen näher am Kopf- oder am Schwanzende, so ist der Erfolg derselbe; aus den Stücken werden ebenfalls vollständige Polypen.

Ich habe auch in demselben Augenblicke einen Polypen querdurch in drei und vier Stücke geteilt; alle diese Stücke sind wieder vollständige Polypen geworden. Das erste und letzte Stück der in

drei oder vier Teile zerschnittenen Polypen verhalten sich den beiden Stücken eines quer durchschnittenen Polypen gleich. Die Reproduktion aber in den Mittelstücken, nämlich im zweiten eines in drei Teile und im zweiten und dritten eines in vier Teile geschnittenen Polypen, ist eine doppelte; denn dies sind Stücke, die weder Kopf noch Schwanz haben, aber beides bekommen sollen. Solches erfolgt auch wirklich in kürzerer oder längerer Zeit, je nach den Umständen.

Nachdem ich viele Polypen quer durch geschnitten hatte, nahm ich mir vor, einen der Länge nach zu halbieren. Dies ist freilich etwas schwerer, aber man kann bei einiger Geschicklichkeit doch zu seinem Zwecke gelangen. Ich lege den Polypen, den ich der Länge nach zerschneiden will, mit etwas Wasser in meine linke hohle Hand, alsdann ziehe ich ihn mit der Pinselspitze an den Rand des Tropfens, bis er auf meiner Hand liegt. Er ist dann der Handfläche platt angedrückt, so dafs sich die Schere leicht anwenden läfst, ohne ihn sonderlich zu bewegen. Habe ich auf diese Weise den Polypen zerschnitten, so bringe ich mit einer nassen Pinselspitze die beiden Stücke voneinander und breite sie auf meiner angefeuchteten Hand aus, um sie mit der Lupe bequem beobachten zu können. Jedes Stück scheint dann ein Streifen von der Haut des Polypen zu sein, an dessen einem Ende einige zusammengezogene Arme sitzen. Ehe man sich's versieht, verwandelt sich der halbe Polyp in eine Röhre, deren Ränder zusammentreten und aneinanderwachsen. Dies findet so vollkommen statt, dafs man nachher nicht die geringste Narbe gewahr wird. Sobald die Ränder völlig verwachsen sind, sehen die Polypenhälften wieder wie ein vollkommener Polyp aus. Der ganze Vorgang nimmt gewöhnlich nur eine Stunde in Anspruch. Obgleich die Stücke der längs durchschnittenen Polypen nur einige Arme haben, können sie doch damit ihre Beute fassen. Ich erstaunte anfangs, als ich einige Tiere etwa 24 Stunden nach der Operation einen Wurm, so lang wie sie selbst, ergreifen und verschlingen sah. Später bemerkte ich, dafs sie schon drei Stunden nach der Operation wieder frafsen. Ich habe soeben gesagt, die aus den Stücken eines längs durchschnittenen Polypen entstandenen Tiere hätten nur einige Arme; bald sieht man aber an der Stelle, wo solche gesessen, wieder andere hervorwachsen, so dafs, wenn diese so lang als die anderen geworden sind, zwischen den durch Zerschneiden entstandenen und den unzerschnittenen Tieren nicht der geringste Unterschied mehr zu bemerken ist. Hierauf habe ich Polypen zu gleicher Zeit längs

in vier Stücke geteilt; aus jedem dieser vier Stücke ist bald ein vollständiger Polyp geworden.

Man sieht, dafs man den Polypen nicht tötet, man zerschneide ihn, wie man wolle, sondern dafs man im Gegenteil aus einem viele machen kann. Ich schlitzte einen Polypen auf meiner Hand auf, breitete ihn aus und schnitt die Haut desselben kurz und klein, so dafs ich ihn gewissermafsen in lauter kleine Stücke zerhackte. Alle diese Stückchen, sie mögen Arme haben oder nicht, wurden wieder vollkommene Polypen.

Jetzt aber komme ich zu einem Versuche, der ebenso seltsam wie die vorigen ist. Er besteht in der Kunst, den Polypen umzukehren. Man erinnere sich, dafs der ganze Körper eines Polypen aus einer blofsen Röhre, einer Art Darm oder Sack besteht, der von einem Ende zum andern geht. Folglich kommt es darauf an, diesen Darm, woraus der Polypenkörper besteht, so umzukehren, wie man einen Sack, einen Strumpf oder einen Handschuh umzukehren pflegt. Solange ich Polypen mit leerem Magen umkehren wollte, habe ich nie zu meinem Zweck gelangen können; hingegen glückte es mir gleich, sobald ich sie vor dem Versuch gut gefüttert hatte, so dafs ihr Körper recht ausgedehnt war.

Ich beginne damit, dafs ich dem Polypen, den ich umkehren will, einen Wurm zu fressen gebe. Hat er denselben verschluckt, so bringe ich ihn mit etwas Wasser in meine hohle linke Hand. Hierauf drücke ich ihn mit einem kleinen Pinsel am hinteren Ende und treibe dadurch den Wurm aus dem Magen nach dem Maule zu, bis ein Stück des Wurmes aus demselben herauskommt. Dann nehme ich eine ziemlich dicke und stumpfe Schweinsborste in die rechte Hand, bringe dieselbe an das hintere Ende des Polypen und stofse in den Magen hinein, was um so leichter von statten geht, da er hier leer und sehr erweitert ist. Hierauf drücke ich die Schweinsborste immer weiter voran; je weiter sie eindringt, um so mehr kehrt sich der Polyp um. Kommt die Borste bis an den Wurm, der das Maul des Polypen offen hält, so drückt sie diesen entweder heraus oder geht daneben aus dem Maule heraus und ist jetzt von dem hinteren Teile des Polypen bedeckt, der auf diese Weise umgekehrt ist. Es erübrigt nichts weiter als ihn jetzt von der Schweinsborste abzustreifen.

Alles, was ich jetzt beschrieben, habe ich in Gegenwart verschiedener Personen gethan, welche stets mit dem bewaffneten Auge den Polypen betrachteten, während ich ihn umkehrte. Sobald dies geschehen ist, verschliefst sich der Mund und selbst die

Lippen treten etwas mit hinein. Später kehren sich die Lippen nach aussen, als wenn sich der Polyp wieder umwenden und in seinen vorigen Zustand zurückkehren wollte. Dies versucht der Polyp auch in der That und oft glückt es ihm. Ich habe solche gesehen, die sich binnen einer Stunde wieder umkehrten. Meine Hauptaufgabe war daher, sie umgekehrt zu erhalten, um zu sehen, ob sie auch in diesem Zustande leben könnten. Ich habe mir daher alle Mühe gegeben, dies ins Werk zu setzen. Ein sicheres Mittel besteht darin, dafs man das umgewendete Tier dicht hinter dem Kopfe mit einer Schweinsborste durchstöfst, denn es ist für einen Polypen nichts, aufgespiefst zu werden. Ich habe solches auf verschiedene Weise mit nicht umgekehrten Polypen gethan, ohne dafs es sie am Fressen und an ihrer Vermehrung gehindert hätte. Die umgekehrten scheinen darunter ebensowenig zu leiden. Nun ist aber leicht einzusehen, dafs der Polyp durch die ihm quer durchs Maul gestofsene Schweinsborste verhindert wird, sich wieder umzukehren. Ich habe eine beträchtliche Anzahl Polypen umgewendet, welche in diesem Zustande geblieben sind und lange gelebt haben; sie haben gefressen, sind gewachsen und haben sich vermehrt.

# 23. Kant erklärt den Ursprung des Weltgebäudes. 1755.

## J. Kant, Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels.

Erster Teil und erstes Hauptstück des zweiten Teiles, auszugsweise[1]).

*Immanuel Kant wurde den 22. April 1724 in Königsberg als Sohn eines Sattlers geboren und bezog 1740 die dortige Universität, an welcher er seit 1755 das akademische Lehramt bekleidete. Er hielt Vorlesungen über Philosophie, Physik, Mathematik und physische Geographie. Die allgemeine Naturgeschichte des Himmels ist die*

1) Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt von Immanuel Kant. Als 12. Band von Ostwalds „Klassiker der exakten Wissenschaften" herausgegeben von H. Ebert. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1890.

*erste gröfsere Arbeit Kants, dessen Hauptwerk, die Kritik der reinen Vernunft, erst 1781 erschien. Kant starb am 12. Februar 1804 in seiner Vaterstadt.*

Der Lehrbegriff von der allgemeinen Verfassung des Weltbaus hat seit den Zeiten des Huyghens[1]) keinen merklichen Zuwachs gewonnen. Man weifs noch zur Zeit nichts mehr, als was man schon damals gewufst hat, nämlich dafs sechs Planeten mit zehn Begleitern, welche alle beinahe auf einer Fläche die Zirkel ihres Umlaufs gerichtet haben[2]), und die ewigen kometischen Kugeln, die nach allen Seiten ausschweifen, ein System ausmachen, dessen Mittelpunkt die Sonne ist, um welche ihre Bewegungen gehen und von welcher sie alle erleuchtet, erwärmt und belebt werden. Dafs endlich die Fixsterne, als eben so viel Sonnen, Mittelpunkte von ähnlichen Systemen sind, in welchen alles eben so grofs und eben so ordentlich wie in dem unserigen eingerichtet sein mag, und dafs der unendliche Weltraum von Weltgebäuden wimmelt, deren Zahl und Vortrefflichkeit im Verhältnis zur Unermefslichkeit ihres Schöpfers steht.

Das Systematische, welches in der Verbindung der Planeten, die um ihre Sonnen laufen, stattfand, verschwand in der Menge der Fixsterne, und es schien, als wenn die gesetzmäfsige Beziehung, die im Kleinen angetroffen wird, nicht unter den Gliedern des Weltalls im Grofsen herrsche; die Fixsterne bekamen kein Gesetz, durch welches ihre Lagen gegen einander eingeschränkt wurden, und man sah sie alle Himmel und aller Himmel Himmel ohne Ordnung und ohne Absicht erfüllen.

Jedermann, der den bestirnten Himmel in einer heiteren Nacht ansieht, wird denjenigen lichten Streif gewahr, der durch die Menge der Sterne, die daselbst mehr als anderwärts gehäuft sind, ein einförmiges Licht darstellt, welches man mit dem Namen Milchstrafse benannt hat. Es ist zu bewundern, dafs die Beobachter des Himmels durch die Beschaffenheit dieser am Himmel kenntlichen Zone nicht längst bewogen wurden, besondere Bestimmungen in der

1) Über Huyghens Siehe 16.

2) Die sechs damals bekannten Planeten sind Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn. Der Uranus wurde 1781 von Herschel, der Neptun erst 1846 entdeckt. Die Neigungen der Planetenbahnen, d. h. die Winkel, welche die Ebenen dieser Bahnen (Zirkel) mit der Ebene der Erdbahn, der Ekliptik, bilden, betragen 1—7°. Die Neigungen der Planetoidenbahnen sind jedoch z. T. erheblich gröfser.

Lage der Fixsterne daraus abzunehmen. Denn man sieht diese Zone die Richtung eines gröfsten Zirkels, und zwar in ununterbrochenem Zusammenhange, um den ganzen Himmel einnehmen; zwei Bedingungen, die eine so genaue Bestimmung und von dem Unbestimmten des Ungefährs so kenntlich unterschiedene Merkmale mit sich führen, dafs aufmerksame Sternkundige natürlicher Weise dadurch hätten veranlafst werden sollen, der Erklärung einer solchen Erscheinung mit Aufmerksamkeit nachzuspüren.

Auch die übrigen Sterne, die in dem weifslichen Streifen der Milchstrasse nicht inbegriffen sind, werden doch um so gehäufter und dichter gesehen, je näher ihre Örter dem Kreise der Milchstrasse sind, sodafs von den 2000 Sternen, die das blofse Auge am Himmel entdeckt, der gröfste Teil in einer nicht gar breiten Zone, deren Mitte die Milchstrasse einnimmt, angetroffen wird.

Wenn wir uns nun eine ebene Fläche durch den Sternenhimmel hindurch in unbeschränkte Weiten gezogen denken und annehmen, dafs zu dieser Fläche alle Fixsterne und Systeme eine allgemeine Beziehung ihres Ortes haben, um sich derselben näher als anderen Gegenden zu befinden, so wird ein Auge, das dieser Beziehungsfläche nahe ist, bei seiner Aussicht in das Feld der Gestirne, an der hohlen Kugelfläche des Firmaments diese dichteste Häufung der Sterne in der Richtung der gezogenen Fläche unter der Gestalt einer erleuchteten Zone erblicken. Dieser lichte Streif wird nach der Richtung eines grofsen Zirkels fortgehen, wenn der Stand des Zuschauers in der Fläche selbst ist. In dieser Zone wird es von Sternen wimmeln, welche durch die nicht zu unterscheidende Kleinheit der hellen Punkte, die sich einzeln dem Auge entziehen, und durch ihre scheinbare Dichtigkeit einen einförmig weifslichen Schimmer, mit einem Worte eine Milchstrasse darstellen. Das übrige Himmelsheer, dessen Beziehung gegen die gezogene Fläche sich nach und nach vermindert, oder welches sich auch dem Stande des Beobachters näher befindet, wird mehr zerstreut, doch der zunehmenden Häufung nach sich auf eben diese Fläche beziehend gesehen werden. Endlich folgt hieraus, dafs unsere Sonnenwelt, weil von ihr aus dieses System der Fixsterne in der Richtung eines gröfsten Kreises gesehen wird, in eben der grofsen Fläche befindlich sei und mit den übrigen Fixsternen ein System ausmache.

Wenn ein System von Fixsternen, welche in ihren Lagen sich auf eine gemeinschaftliche Fläche beziehen, so wie wir die Milchstrasse entworfen haben, so weit von uns entfernt ist, dass alle

Kenntlichkeit der einzelnen Sterne sogar dem Sehrohr nicht mehr empfindlich ist, kurz, wenn eine solche Welt von Fixsternen in einem unermeſslichen Abstande von dem Auge des Beobachters, das sich auſserhalb derselben befindet, angeschaut wird, so wird dieselbe unter einem kleinen Winkel als ein mit schwachem Lichte erleuchtetes Räumchen erscheinen, dessen Figur zirkelrund sein wird, wenn seine Fläche sich dem Auge geradezu darbietet und elliptisch, wenn es von der Seite gesehen wird. Die Schwäche des Lichtes, die Figur und die erkennbare Gröſse des Durchmessers werden ein solches Phänomen, wenn es vorhanden ist, von allen Sternen, die einzeln gesehen werden, gar deutlich unterscheiden.

Man braucht sich unter den Beobachtungen der Sternkundigen nicht lange nach dieser Erscheinung umzusehen. Sie ist von verschiedenen Beobachtern deutlich wahrgenommen worden. Die Nebelsterne sind es, welche wir meinen, oder vielmehr eine Gattung derselben, die Herr von Maupertuis[1]) so beschreibt:

„Daſs es kleine, etwas mehr als das Finstere des leeren Himmels erleuchtete Plätzchen sind, die alle darin übereinkommen, daſs sie mehr oder weniger offene Ellipsen vorstellen, aber deren Licht weit schwächer ist, als irgend ein anderes, das man am Himmel gewahr wird". Der Verfasser der Astrotheologie bildete sich ein, daſs es Öffnungen im Firmamente wären, durch welche er den Feuerhimmel zu sehen glaubte. Ein Philosoph von erleuchteteren Einsichten, der schon angeführte Herr von Maupertuis, hält sie in Betrachtung ihrer Figur und ihres kennbaren Durchmessers für erstaunlich groſse Himmelskörper, die durch ihre von dem Drehungsschwunge verursachte groſse Abplattung, von der Seite gesehen, elliptische Gestalten darstellen.

Man wird leicht überführt, daſs diese letztere Erklärung gleichfalls nicht stattfinden könne. Da diese Art von Nebelsternen ohne Zweifel wenigstens ebensoweit wie die übrigen Fixsterne von uns entfernt sein muſs, so wäre nicht allein ihre Gröſse erstaunlich, nach welcher sie auch die gröſsten Sterne viele tausendmal übertreffen müſsten, sondern das wäre am allerseltsamsten, daſs sie bei dieser auſserordentlichen Gröſse das allerstumpfste und schwächste Licht zeigen sollten.

Weit natürlicher und begreiflicher ist es, daſs es nicht einzelne so groſse Sterne, sondern Systeme von vielen sind, deren Entfernung sie in einem so engen Raume darstellt, daſs das Licht,

---

1) Von Maupertuis (1698—1759). Discours sur la figure des astres, 1742.

welches von jedem derselben einzeln unmerklich ist, bei ihrer unermeſslichen Menge in einen einförmigen blassen Schimmer ausschlägt. Die Analogie mit dem Sternsystem, darin wir uns befinden, ihre Gestalt, welche gerade so ist, als sie es nach unserem Lehrbegriffe sein muſs, die Schwäche des Lichtes, die eine vorausgesetzte unendliche Entfernung erfordert, alles stimmt vollkommen überein, diese elliptischen Figuren für eben dergleichen Weltordnungen, so zu sagen für Milchstraſsen, zu halten, deren Verfassung wir eben entwickelt haben.

Nunmehr hat die Aufmerksamkeit der beobachtenden Astronomen Beweggründe genug, sich mit diesem Gegenstande zu beschäftigen. Die Fixsterne, welche wir noch einzeln unterscheiden, beziehen sich also mit der unzählbaren Menge derer, die durch ihr vereinigtes Licht den Schimmer der Milchstraſse verursachen, auf eine gemeinschaftliche Fläche und bilden dadurch ein geordnetes Ganze, welches eine Welt von Welten ist. In unermeſslichen Entfernungen giebt es mehr solcher Sternsysteme (Nebelsterne, Nebelflecken), und die Schöpfung ist in dem ganzen unendlichen Umfange ihrer Gröſse allenthalben systematisch und aufeinander beziehend.

---

Wenn man erwägt, daſs sechs Planeten mit zehn Begleitern, die um die Sonne als ihren Mittelpunkt Kreise beschreiben, alle nach einer Seite sich bewegen, und zwar nach derjenigen, nach welcher sich die Sonne selbst dreht, sowie daſs ihre Kreise nicht weit von einer gemeinschaftlichen Fläche abweichen, nämlich von der verlängerten Äquatorfläche der Sonne, so wird man bewogen zu glauben, daſs eine Ursache, welche es auch sei, einen durchgängigen Einfluſs in dem ganzen Raume des Systems gehabt hat, und daſs die Eintracht in der Richtung und Stellung der planetischen Kreise eine Folge der Übereinstimmung sei, die sie alle mit derjenigen materiellen Ursache gehabt haben müssen, durch welche sie in Bewegung gesetzt worden sind.

Wenn wir andererseits den Raum erwägen, in dem die Planeten unseres Systems herumlaufen, so ist er vollkommen leer und aller Materie beraubt, die eine Gemeinschaft des Einflusses auf die Himmelskörper verursachen und die Übereinstimmung in ihren Bewegungen nach sich ziehen könnte.

Newton, durch diesen Grund bewogen, konnte keine materielle Ursache verstatten, die durch ihre Erstreckung in dem Raume

des Planetengebäudes die Gemeinschaft der Bewegungen unterhalten sollte. Er behauptete, die unmittelbare Hand Gottes habe diese Anordnung ohne die Anwendung der Kräfte der Natur eingerichtet.

Man sieht bei unparteiischer Erwägung, dafs die Gründe hier auf beiden Seiten gleich stark und beide einer völligen Gewifsheit gleich zu schätzen sind. Es ist aber auch eben so klar, dafs ein Begriff sein müsse, unter welchem diese dem Scheine nach wider einander streitenden Gründe vereinigt werden können und sollen, und dafs in diesem Begriffe das wahre System zu suchen sei. Wir wollen ihn mit kurzen Worten anzeigen.

In der jetzigen Verfassung des Raumes, worin die Kugeln der ganzen Planetenwelt umlaufen, ist keine materielle Ursache vorhanden, die ihre Bewegungen richten könnte. Dieser Raum ist vollkommen leer oder wenigstens so gut wie leer; also mufs er ehemals anders beschaffen und mit Materie erfüllt gewesen sein, die vermögend war, die Bewegung auf alle darin befindlichen Himmelskörper zu übertragen und sie mit der ihrigen, folglich alle untereinander, übereinstimmend zu machen. Nachdem dann die Anziehung besagte Räume gereinigt und alle ausgebreitete Materie in besondere Klumpen vereinigt hat, müssen die Planeten nunmehr ihre Umläufe in einem nicht widerstehenden Raume frei und unverändert fortsetzen.

Ich nehme also an, dafs die gesamte Materie, aus welcher die Planeten und Kometen bestehen, im Anfang aller Dinge, in ihren elementarischen Grundstoff aufgelöst, den ganzen Raum des Weltgebäudes erfüllt habe, in welchem jetzt diese entstandenen Körper herumlaufen. Dieser Zustand der Natur, wenn man ihn, auch ohne Rücksicht auf ein System, an und für sich selbst betrachtet, scheint nur der einfachste zu sein, der auf das Nichts folgen kann. Damals hatte sich noch nichts gebildet. Die Zusammensetzung von einander abstehender Himmelskörper, ihre nach den Anziehungen gemäfsigte Entfernung, ihre Gestalt, die aus dem Gleichgewichte der versammelten Materie entspringt, sind ein späterer Zustand. Die Natur, die unmittelbar an die Schöpfung grenzte, war so roh, so ungebildet wie möglich.

Bei einem auf solche Weise erfüllten Raume dauert die allgemeine Ruhe nur einen Augenblick. Die Elemente haben wesentliche Kräfte, einander in Bewegung zu setzen und sind sich selbst

eine Quelle des Lebens. Die Materie ist sofort bestrebt, sich zu bilden. Die zerstreuten Elemente dichterer Art sammeln vermittelst der Anziehung aus einer Sphäre rund um sich alle Materie von geringerer spezifischer Schwere. Sie selbst aber samt der Materie, die sie mit sich vereinigt haben, sammeln sich in den Punkten, wo Teilchen noch dichterer Gattung befindlich sind, diese wieder zu noch dichteren und so weiter. Indem man also der sich bildenden Natur im Gedanken durch den ganzen Raum des Chaos nachgeht, wird man leicht gewahr, dafs die Folge dieser Wirkung zuletzt in der Bildung verschiedener Klumpen besteht, welche darauf durch die Gleichheit der Anziehung auf immer unbewegt bleiben müfsten.

Allein die Natur hat noch andere Kräfte im Vorrate, welche sich vornehmlich äufsern, wenn die Materie in feine Teilchen aufgelöst ist. Diese Kräfte, welche bewirken, dafs die Teilchen einander zurückstofsen, rufen durch ihren Streit mit der Anziehung diejenige Bewegung hervor, welche gleichsam ein dauerhaftes Leben der Natur ist. Durch diese zurückstofsende Kraft werden die zu ihren Anziehungspunkten sinkenden Elemente, wenn der Widerstand, den sie im Fallen gegeneinander seitwärts ausüben, nicht genau von allen Seiten gleich ist, von der gradlinigen Bewegung seitwärts gelenkt, und der senkrechte Fall schlägt in Kreisbewegungen aus. Wir wollen, um die Bildung des Weltbaues deutlich zu begreifen, unsere Betrachtung von dem unendlichen Inbegriffe der Natur auf ein besonderes System einschränken, wie das zu unserer Sonne gehörige. Man wird alsdann von selbst nach der Analogie auf einen ähnlichen Ursprung der höheren Weltordnungen schliefsen und die Unendlichkeit der ganzen Schöpfung in einem Lehrbegriffe zusammenfassen können.

Wenn demnach ein Punkt in einem sehr grofsen Raume befindlich ist, wo die Anziehung der daselbst befindlichen Elemente stärker als an allen anderen Orten in der Umgebung wirkt, so wird der ringsum ausgebreitete Grundstoff elementarischer Partikeln sich zu diesem Punkte hinsenken. Die erste Wirkung dieser allgemeinen Senkung ist die Bildung eines Körpers in diesem Mittelpunkte der Attraktion, welcher so zu sagen von einem unendlich kleinen Keime, anfänglich langsam (durch die chemische Anziehung), darauf aber in schnellen Graden (durch die sogenannte Newtonische) fortwächst, aber in eben dem Verhältnisse wie diese Masse sich vermehrt, auch mit stärkerer Kraft die umgebenden Teile zu vereinigen strebt.

Wenn die Masse dieses Centralkörpers soweit angewachsen ist, dafs die Geschwindigkeit, womit er die Teilchen aus grofsen Entfernungen zu sich zieht, durch die schwachen Grade der Zurückstofsung, womit sie einander hindern, seitwärts gebeugt in Seitenbewegungen ausschlägt, so erzeugen sich grofse Wirbel von Teilchen, deren jedes für sich krumme Linien beschreibt. Indessen sind diese auf mancherlei Art unter einander streitenden Bewegungen natürlicherweise bestrebt, einander zur Gleichheit zu bringen, d. h. in einen Zustand, in welchem eine Bewegung der anderen so wenig wie möglich hinderlich ist. In diesem Zustande, da alle Teilchen nach einer Richtung und in parallellaufenden Kreisen, nämlich in freien Zirkelbewegungen, durch die erlangten Schwungkräfte um den Centralkörper laufen, ist der Streit und der Zusammenlauf der Elemente gehoben. Dieses ist die natürliche Folge, darin sich jedesmal eine Materie, die in streitenden Bewegungen begriffen ist, versetzt.

Indem die um die Sonne in parallelen Zirkeln bewegten Elemente durch die Gleichheit der parallelen Bewegung beinahe in relativer Ruhe gegeneinander sind, thut die Anziehung der daselbst befindlichen Elemente von überwiegender Attraktion sogleich hier eine beträchtliche Wirkung, die Sammlung der nächsten Partikeln zur Bildung eines Körpers anzufangen, der nach dem Mafse des Anwuchses seine Anziehung weiter ausbreitet und die Elemente aus weitem Umfange zu seiner Zusammensetzung bewegt. Die Planeten bilden sich demnach aus den Teilchen, welche Bewegungen in Zirkelkreisen haben, also werden die aus ihnen zusammengesetzten Massen eben dieselben Bewegungen, in eben dem Grade, nach eben derselben Richtung fortsetzen. Dieses ist genug, um einzusehen, woher die Bahnen der Planeten ungefähr zirkelförmig und beinahe in einer Fläche sind.

# 24. Laplace entwickelt ähnliche Ansichten über den Ursprung des Weltgebäudes wie Kant. Kant-Laplace'sche Hypothese. 1796.

## Laplace, Darstellung des Weltsystems.

### Betrachtungen über das Weltsystem und über die zukünftigen Fortschritte der Astronomie[1]).

*Pierre Simon Laplace, hervorragender französischer Astronom, der in seiner „Mécanique céleste" (1799—1825) die theoretische Astronomie aufserordentlich förderte. Die „Exposition du Système du monde" erschien einige Jahre vor jenem Hauptwerk. Laplace wurde am 28. März 1749 geboren, gehörte während der französischen Revolution der Kommission für Mafs und Gewicht an und starb am 5. März 1827.*

Lenken wir jetzt unseren Blick auf die Einrichtung des Sonnensystems und seine Beziehungen zu den Fixsternen. Die gewaltige Sonnenkugel, der Mittelpunkt der Bewegungen, dreht sich in $25^1/_2$ Tagen um ihre Axe. Ihre Oberfläche ist von einem Lichtmeere bedeckt, dessen lebhafte Aufwallungen veränderliche Flecken bilden, welche mitunter sehr zahlreich und bisweilen gröfser als die Erde sind. Aufserhalb dieser Lichthülle breitet sich eine ungeheuere Atmosphäre aus; jenseits derselben beschreiben die Planeten mit ihren Begleitern nahezu kreisförmige Bahnen, deren Ebenen nur wenig gegen den Sonnenäquator geneigt sind. Unzählige Kometen verlieren sich nach dem Verlassen der Sonnennähe in Weiten, welche uns beweisen, dafs der Einflufs der Sonne sich weit über die bekannten Grenzen des Planetensystems hinaus erstreckt. Dieses Gestirn wirkt nicht nur vermöge seiner Anziehung auf alle diese Kugeln, indem es sie zwingt, sich um dasselbe zu bewegen, es spendet ihnen auch sein Licht und seine Wärme. Die wohlthätige Wirkung der Sonne läfst Tiere und Pflanzen entstehen, welche die Erde bedecken, und die Analogie führt uns zu der Annahme, dafs sie ähnliche Wirkungen auf den Planeten hervorruft. Es wäre doch unnatürlich zu glauben, dafs die Materie, deren Fruchtbarkeit

[1]) Nach der zweiten Auflage der „Exposition du Système du Monde par P. S. Laplace, Paris, An. VII". 2. Bd. letztes Kapitel, übersetzt von Fr. Dannemann.



wir unter so zahlreichen Formen sich entfalten sehen, auf einem solch grofsen Planeten wie Jupiter, der wie die Erde seine Tage, Nächte und Jahre aufweist, unfruchtbar sein sollte.

Der Mensch, welcher der irdischen Temperatur angepafst ist, würde allem Anschein nach auf den anderen Planeten nicht leben können. Sollte es aber nicht eine unbegrenzte Mannichfaltigkeit von Lebewesen geben, je nach der verschiedenen Temperatur der Himmelskörper? Wenn schon der alleinige Unterschied im Medium und im Klima den aufserordentlichen Formenreichtum in den Erzeugnissen unserer Erde bedingt, um wie viel gröfsere Unterschiede müssen dann die Bewohner der verschiedenen Planeten und Monde aufweisen. Auch die lebhafteste Phantasie kann sich davon keine Vorstellung machen; dennoch ist die Existenz solcher Lebewelten sehr wahrscheinlich.

Obgleich die Glieder des Planetensystems selbständig sind, weisen sie doch sehr merkwürdige Beziehungen zu einander auf, welche uns über den Ursprung des Systems aufklären können. Bei aufmerksamer Betrachtung sieht man mit Erstaunen, dafs sämtliche Planeten von Westen nach Osten um die Sonne laufen, und zwar fast in einerlei Ebene. Die Monde bewegen sich um ihre Planeten in demselben Sinne und fast in derselben Ebene wie die letzteren. Endlich Sonne, Planeten und Monde, deren Rotationsbewegung man beobachtet hat, drehen sich alle in derselben Richtung um ihre Axe, und zwar geschieht dies fast in der Ebene ihrer Umlaufsbewegung. Eine solch aufsergewöhnliche Erscheinung kann kein Spiel des Zufalls sein; sie deutet auf eine gemeinsame Ursache, welche alle diese Bewegungen bestimmt hat.

Eine andere ebenso bemerkenswerte Erscheinung ist die geringe Excentricität der Planeten- und Mondbahnen, während die Bahnen der Kometen sehr gestreckt sind; die Bahnen des Sonnensystems weisen somit keine Zwischenstufen bezüglich des Mafses der Excentricität auf. Wir sind auch hier gezwungen, das Resultat einer gesetzmäfsig wirkenden Ursache anzuerkennen; dem Zufall allein können nicht sämtliche Planeten eine nahezu kreisförmige Bahn verdanken.

Man hat also, um zur Ursache der Bewegungen des Planetensystems aufzusteigen, folgende fünf Erscheinungen: 1. Die Umläufe der Planeten in derselben Richtung und fast einerlei Ebene. 2. Die Umläufe der Monde, welche im gleichen Sinne wie diejenigen der Planeten erfolgen. 3. Die Rotationsbewegungen dieser verschiedenen Glieder des Sonnensystems erfolgen in derselben Richtung wie die

Umläufe und fast in derselben Ebene. 4. Die geringe Excentricität der Planeten- und Mondbahnen. 5. Endlich die bedeutende Excentricität der Kometenbahnen.

Buffon[1]) ist meines Wissens der erste, der seit der Entdeckung des wahren Weltsystems versucht hat, auf den Ursprung der Planeten und Monde zurückzugehen. Er nimmt an, dafs ein Komet in seinem Falle auf die Sonne einen Strom Materie von derselben losgerissen hat, der sich nach seiner Entfernung zu gröfseren und kleineren von der Sonne verschieden weit abstehenden Kugeln zusammenballte.

Letztere seien die Planeten und die Monde, welche infolge der Abkühlung dunkel und fest geworden seien. Diese Hypothese genügt der ersten der fünf vorerwähnten Erscheinungen, denn es ist einleuchtend, dafs alle auf solche Weise entstandenen Körper sich ungefähr in derjenigen Ebene bewegen müssen, welche durch den Mittelpunkt der Sonne und den Weg des materiellen Stromes geht, der jene Körper erzeugt hat. Die vier anderen Erscheinungen können meines Bedünkens aus dieser Hypothese nicht erklärt werden; die geringe Excentricität der Planetenbahnen spricht geradezu gegen dieselbe. Man weifs aus der Theorie der Centralkräfte, dafs wenn ein Körper sich rings um die Sonne bewegt und dabei ihre Oberfläche streift, derselbe bei jedem seiner Umläufe dahin zurückkehren mufs. Daraus würde folgen, dafs wenn die Planeten ursprünglich von der Sonne losgerissen worden wären, sie dieselbe nach jedem Umlauf berühren und demnach ihre Bahnen nicht kreisförmig, sondern stark excentrisch sein müfsten.

Sehen wir, ob es möglich ist, die wahre Ursache der oben erwähnten Erscheinungen zu ergründen.

Da diese Ursache die Bewegungen der Planeten und Monde veranlafst oder geregelt hat, so mufste sie, welches auch ihre Natur war, sich auf alle diese Körper erstrecken. In Anbetracht der gewaltigen Zwischenräume, welche die letzteren trennt, kann sie nur in einem Fluidum von ungeheurer Ausdehnung bestanden haben. Sollte sie den Planeten fast kreisförmige gleich gerichtete Bewegungen um die Sonne verleihen, so mufs man voraussetzen, dafs dieses Fluidum die Sonne wie eine Atmosphäre umgab. Die Betrachtung der planetaren Bewegungen führt uns also zu der Annahme, dafs die Sonnenatmosphäre sich uranfänglich über sämtliche

1) Buffon (1707—1778) in seiner „Histoire naturelle".



Planetenbahnen hinaus erstreckte und allmählich bis auf ihren jetzigen Umfang zusammengeschrumpft ist.

Die grofse Excentricität der Kometenbahnen führt zu demselben Ergebnis. Gegenwärtig kann es nur solche Kometen geben, welche sich zu jener Zeit aufserhalb dieser Atmosphäre befanden. Ihre Neigungen müssen eine solche Unregelmäfsigkeit aufweisen, als wären diese Körper auf's Geratewohl geschleudert worden, da wir der Sonnenatmosphäre keinen Einflufs auf ihre Bewegungen zuschreiben. Wie aber hat dieselbe die Umlauf- und Rotationsbewegungen der Planeten hervorgerufen? Man kann vermuten, dafs diese Körper an den successiven Grenzen jener Atmosphäre durch die Verdichtung der Zonen entstanden, welche sich in der Äquatorebene infolge von Abkühlung und Zusammenziehung bilden mufsten. Die Monde würden dann auf ähnliche Weise aus der Atmosphäre der Planeten entstanden sein. Die fünf vorhin aufgeführten Erscheinungen erklären sich ungezwungen aus dieser Annahme, welche durch die Saturnsringe eine weitere Stütze erhält.

Lenken wir jetzt unsere Blicke über das Sonnensystem hinaus. Unzählige Sonnen, welche Centren ebensovieler Planetensysteme sein mögen, sind in dem unermefslichen Weltraum zerstreut. Ihre Entfernung ist so grofs, dafs der Durchmesser der gesamten Erdbahn von ihnen gesehen verschwindend klein ist. Mehrere dieser Sterne zeigen einen merkwürdigen periodischen Wechsel in Glanz und Farbe; andere sind plötzlich erschienen und wieder verschwunden, nachdem sie einige Zeit ein lebhaftes Licht ausgesandt hatten. Welche gewaltigen Vorgänge müssen sich auf der Oberfläche dieser grofsen Weltkörper abgespielt haben, um auf solche Entfernungen noch wahrnehmbar zu sein.

Die Bestimmung der veränderlichen Sterne, ihr periodischer Lichtwechsel, sowie die Eigenbewegungen aller Fixsterne, welche unter dem Einflusse ihrer gegenseitigen Anziehung und mutmafslich auch im Anfang erhaltener Stöfse, ungeheuere Bahnen beschreiben: Das werden bezüglich der Fixsterne die wichtigsten Probleme einer künftigen Astronomie sein.

Es hat den Anschein, als ob diese Weltköper keineswegs gleichmäfsig durch den Raum zerstreut wären, sondern bestimmte Gruppen bilden, von denen jede aus Milliarden von Sternen besteht. Unsere Sonne und die hellsten Sterne gehören wahrscheinlich derjenigen dieser Gruppen an, welche von unserem Standpunkte betrachtet sich um den Himmel zu ziehen scheint und die Milchstrafse bildet. Die grofse Anzahl von Sternen, die man zu gleicher Zeit im

Gesichtsfelde eines guten auf die Milchstrafse gerichteten Teleskops erblickt, spricht für die unermefsliche Tiefe dieser Schicht, welche die Entfernung des Sirius von der Erde tausendmal übertrifft. Entfernt man sich von ihr, so würde sie schliefslich als ein blasser, zusammenhängender, leuchtender Fleck von geringem Durchmesser erscheinen. Dann würde nämlich die Irradiation, welche auch bei den besten Fernröhren stattfindet, die Abstände der Sterne zum Verschwinden bringen. Es ist somit wahrscheinlich, dafs die Mehrzahl der Nebelflecken aus sehr grofser Entfernung gesehene Sterngruppen repräsentieren und dafs man sich ihnen nur zu nähern brauchte, um sie unter einer Gestalt ähnlich derjenigen der Milchstrafse zu erblicken.

Es bleibt noch die Bahn der Sonne und des Schwerpunktes ihres Nebelflecks zu bestimmen. Aber wenn es Jahrhunderte bedurfte, die Bewegungen des Planetensystems zu erkennen, welch gewaltige Zeitdauer wird dann die Bestimmung der Sonnen- und Fixsternbahnen erfordern? Mehrere Beobachtungen sprechen für die Annahme, dafs das Sonnensystem sich dem Sternbilde des Herkules nähert.

Auch in unserem eigenen System sind noch zahlreiche Entdeckungen zu machen. Der Planet Uranus und seine neuerdings entdeckten Monde lassen vermuten, dafs noch einige bisher nicht beobachtete Planeten existieren[1]). Es ist ferner bei mehreren Planeten und den meisten Trabanten noch nicht gelungen, die Rotation und die Abplattung zu bestimmen; auch kennt man noch nicht mit genügender Genauigkeit die Massen all dieser Körper.

Die Astronomie als Ganzes betrachtet ist das schönste Denkmal des menschlichen Geistes, die edelste Urkunde seines Verstandes. Bewogen durch die Täuschungen der Sinne und seinen Eigendünkel hat der Mensch sich lange für den Mittelpunkt der Bewegungen der Gestirne gehalten. Endlich zogen mehrere arbeitsvolle Jahrhunderte den Schleier fort, welcher das wahre Weltsystem verhüllte. Damit sah sich der Mensch auf einen Planeten angewiesen, der innerhalb der ungeheuren Ausdehnung des Sonnensystems unmerklich klein erscheint, während letzteres selbst wieder nur ein winziger Punkt gegenüber der Unermefslichkeit des Weltraums ist.

[1]) Die Entdeckung eines Planeten jenseits des Uranus erfolgte erst 1846 durch Leverrier und Galle. Derselbe wurde Neptun genannt. Die Entdeckung des Planetoidenringes zwischen Mars und Jupiter begann mit der Auffindung der Ceres durch Piazzi am 1. Januar 1801 (Siehe II. Bd).

# 25. Die Meteore werden als kosmische Massen erkannt. 1794.

## Chladni, Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ähnlichen Eisenmassen[1]).

*Ernst Florens Friedrich Chladni wurde am 30. November 1756 in Wittenberg geboren und starb am 3. April 1827. Seine Hauptverdienste liegen auf dem Gebiete der Akustik, zu deren Begründern er zählt; aber auch die kleine Schrift über Meteore, aus welcher nachstehend die wichtigsten Abschnitte wiedergegeben sind, ist für das betreffende Teilgebiet der Astronomie von grundlegender Bedeutung. Die darin von Chladni entwickelte Ansicht, dafs die Meteore kosmischen Ursprungs seien, wurde zwar anfangs verlacht, bald aber allgemein anerkannt. Welch phantastische Erklärungen dadurch beseitigt wurden, geht aus der Abhandlung selbst hervor, die zugleich wichtige Nachrichten über beobachtete Meteorsteinfälle enthält.*

Da die meisten bisherigen Behauptungen über den Ursprung der von Pallas in Sibirien gefundenen und einiger ähnlichen Eisenmassen[2]) mit den Eigenschaften und Lokalumständen derselben gar nicht übereinstimmen, so dachte ich über eine andere Erklärungsart nach und kam endlich auf eine solche, welche sich mit den Eigenschaften und Ortsumständen dieser Massen vollkommen vereinigen läfst. Allem Anschein nach sind nämlich diese Massen und der gefundene Stoff niedergefallener Feuerkugeln ganz einerlei. Alles, was man an letzteren vor und nach ihrem Niederfallen bemerkt hat, lehrt uns, dafs sie aus dichten Stoffen bestehen, die weder durch eine tellurische Kraft in die Höhe geführt, noch aus den in der Atmosphäre befindlichen Teilen zusammengezogen sein können, sondern aus dem übrigen Weltraume zu uns gelangen.

---

1) Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlichen Eisenmassen und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen von E. F. F. Chladni. Riga, 1794.

2) Die sogenannte Pallasmasse ist eine der gröfsten Meteoreisenmassen; sie wurde von Pallas (1741—1811) in der Nähe des Jenissei gefunden und wog 1600 Pfund. Ein 1200 Pfund schweres Stück derselben wird in Petersburg aufbewahrt.



## Allgemeine Bemerkungen über Feuerkugeln.

Eine Feuerkugel ist eine ziemlich seltene Naturerscheinung. Eine feurige Masse, anfangs meist in der Gestalt eines hellen Sterns oder vielmehr einer Sternschnuppe, wird in einer beträchtlichen Höhe sichtbar, bewegt sich schnell in einer schräg niederwärts gehenden Richtung fort und nimmt dabei an Gröfse bis zu einem den Mond bisweilen übertreffenden scheinbaren Durchmesser zu, um endlich mit heftigem Getöse zu zerspringen.

Aus allen Umständen, welche ich der Reihe nach durchgehen werde, ergeben sich genug Gründe, wodurch die gewöhnlichen Erklärungsarten der Feuerkugeln, aus der Nordlichtsmaterie, aus blofser Elektricität, aus der Anhäufung lockerer brennbarer Materien in den oberen Gegenden der Atmosphäre u. s. w. hinlänglich widerlegt und meine Behauptung bestätigt wird, dafs sie aus ziemlich dichten Stoffen bestehen, die nicht tellurischen Ursprungs, sondern kosmische Körper sind.

Die Weltgegend, aus der die Feuerkugeln kommen, ist ganz unbestimmt, wie auch der Winkel, welchen ihre Bahn mit dem Horizont macht. Manche sind unter einem beträchtlichen Winkel gefallen, wie z. B. die vom 23. Juli 1762, andere sind fast mit dem Horizont parallel gegangen. Es folgt daraus, dafs aufser der Anziehungskraft der Erde noch eine andere Kraft auf sie gewirkt haben mufs.

Ihre Höhe ist immer sehr beträchtlich. Aus Berechnungen der Parallaxe[1]) fand man für die am 21. Mai 1676 erschienene Feuerkugel wenigstens $9^1/_2$ deutsche Meilen, für die vom 23. Juli 1762 bei der ersten Beobachtung 19, beim Zerspringen 4 Meilen.

Das Zerspringen mit heftigem Getöse scheint allen eigen zu sein; die einzelnen Stücke zerspringen bisweilen wieder. Das hierdurch hervorgerufene Getöse ist einige Male so heftig gewesen, dafs Thüren und Fenster, ja ganze Häuser, wie bei einem Erdbeben, erschüttert worden sind. Am 23. Juli 1762 hat man dies Getöse in 20 deutschen Meilen Entfernung von dem Orte, über welchem die Feuerkugel zersprang, noch deutlich hören können.

Die Geschwindigkeit der Feuerkugeln kommt bisweilen der Geschwindigkeit der Erde oder anderer Weltkörper völlig gleich. Die vom 21. Mai 1676 durchlief in einer Sekunde wenigstens $^2/_3$, die vom 17. Mai 1719 wenigstens 5 deutsche Meilen.

---

1) Das ist der Winkel, welchen die vom Orte des Aufleuchtens nach zwei Beobachtungspunkten gezogenen Linien bilden.

## Nachrichten über einige Beobachtungen.

Am 21. Mai 1676 kam eine Feuerkugel von Dalmatien her über das Adriatische Meer, ging quer über Italien, wobei man ein zischendes Geräusch hörte, und zersprang südsüdwestlich von Livorno mit einem entsetzlichen Krachen. Die Stücke fielen ins Meer mit einem Geräusch, wie wenn glühendes Eisen in Wasser gelöscht wird. Ihre Höhe war wenigstens $9^1/_2$, ihre Geschwindigkeit 40 deutsche Meilen in der Minute.

Am 17. Mai 1719 erschien eine Feuerkugel in England, von welcher Halley Nachricht giebt[1]); sie durchlief 300 Meilen in einer Minute und zersprang mit einem schrecklichen Getöse, wodurch Thüren, Fenster und ganze Häuser erschüttert wurden.

Am 11. November 1761 sah man eine Feuerkugel, von der in der Histoire de l'académie des sciences, 1761, S. 28 Nachricht gegeben wurde, in verschiedenen Gegenden Frankreichs; sie zersprang ungefähr über Dijon mit heftigem Getöse in sehr viele Stücke; manche Personen glaubten Feuer neben sich gesehen zu haben. Ein Stück ist, wie in den Mémoires de l'académie de Dijon, tom. I. S. 42 erzählt wird, in ein Haus gefallen und dieses davon abgebrannt.

Am 23. Juli 1762 wurde eine Feuerkugel, welche Silberschlag in seiner „Theorie der am 23. Juli 1762 erschienenen Feuerkugel, Magdeburg 1764" weitläufig beschrieben[2]), zuerst ungefähr senkrecht über der Gegend zwischen Leipzig und Zeitz in Gestalt eines kleinen Sterns sichtbar, nahm an scheinbarer Gröfse zu, ging über Wittenberg und Potsdam und zersprang einige Meilen hinter Potsdam mit einem schrecklichen Knalle und darauf folgendem Getöse, sie soll auch während des Laufes gezischt haben. Ihr Licht ist sehr weifs und dem Blitze ähnlich gewesen und hat einen Umfang von wenigstens 60 deutschen Meilen erleuchtet. Das Krachen hat man 20 Meilen weit, z. B. in Bernburg, noch sehr stark gehört. Die Höhe war im Beginn der Beobachtung etwa 19 und beim Zerspringen über 4 Meilen.

---

[1]) Philosophical transactions, n. 360. S. 978.

[2]) Silberschlag (1721—1791), Oberbaurat und Mitglied der Akademie in Berlin, nahm an, dafs diese Feuerkugel aus den Dünsten der zahlreichen Leichen entstanden sei, welche im Sommer des Jahres 1762 die Schlachtfelder bedeckten.

Gründe gegen einige bisherige Erklärungsarten.

1. Manche haben vermutet, dafs die Feuerkugeln mit den Nordlichtern gleichen Ursprung haben möchten, und zwar hauptsächlich deswegen, weil eine ziemliche Anzahl von Nord nach Süd gegangen sind. Diese Vermutung wird aber schon dadurch widerlegt, dafs man auch viele Beispiele hat, dafs Feuerkugeln aus anderen Weltgegenden kamen.

2. Sieht man sie als einen Übergang der Elektricität aus einer damit überhäuften Gegend der Atmosphäre in eine andere, die deren weniger enthält, an.

Gegen diese Theorie ist hauptsächlich folgendes einzuwenden:

a) In einer Höhe von 19 und mehr Meilen sind wohl keine Materien vorhanden, in welchen sich die Elektricität so wie in den Gewitterwolken anhäufen könnte.

b) Feuerkugeln bewegen sich immer, Blitze aber nur selten in gerader Richtung fort.

c) Das Zerspringen mit heftigem Getöse.

d) Die bisweilen bemerkten mehrmaligen Explosionen und die Absonderung kleinerer Kugeln.

3. Silberschlag hat sie in seiner „Theorie der 1762 erschienenen Feuerkugel“ aus öligen Dünsten zu erklären gesucht [1]), die von unten aufgestiegen seien und sich in der oberen Luft angehäuft haben sollen. Gegen diese Hypothese, welche sich wohl noch weniger mit einigem Schein von Wahrheit verteidigen läfst als die vorige, ist unter anderem folgendes zu erinnern:

a) Zu einer so beträchtlichen Höhe, wo die Luft viele tausendmal dünner ist als unten, können unmöglich so viele materielle Teile in Dunstgestalt geführt werden, wie zu einer solchen Zusammenhäufung erforderlich sind.

b) Eine blofse Zusammenhäufung von Dünsten würde nicht imstande sein, eine Bewegung hervorzurufen, welche die Geschwindigkeit einer Kanonenkugel wohl hundertmal übertrifft.

4. Maskelyne [2]) vermutet, dafs es bleibende dichte Körper

1) Siehe Anm. Seite 141.

2) Maskelyne (1732—1811), bedeutender englischer Astronom und Leiter der Sternwarte zu Greenwich. Er ist vor allem dadurch bekannt geworden, dafs er im Jahre 1774 aus der Ablenkung, die ein Lot durch den Berg Shehallien in Schottland erfuhr, die Dichte des Erdkörpers bestimmte (Siehe Bd. II)

sind, die sich um die Sonne bewegen. Hevel[1]) hat sie in seiner Kometographie als kometenartige Körper angesehen.

Bei dieser Verschiedenheit der Erklärungsarten ist es merkwürdig, dafs viele Naturforscher gern Naturerscheinungen aus dem erklären, womit sie sich besonders beschäftigt haben. Bergmann[2]) z. B., der sich bemüht, die Beschaffenheit des Nordlichts genauer zu erkunden, vermutet, dafs die Feuerkugeln mit diesen einerlei Ursprung haben möchten. Ein Erforscher der Elektricität hält sie für elektrische Erscheinungen. Die Astronomen Hevel und Maskelyne betrachten sie als kosmische Körper; ebenso wie manche Mineralogen, die viel in vulkanischen Gegenden gereist sind, vieles als Produkt des Feuers ansehen, was andere, die sich mehr in nichtvulkanischen Gegenden aufhielten, aus dem Wasser entstehen lassen[3]).

### Feuerkugeln sind kosmische Körper.

Aus dem bisher Angeführten ergiebt sich mit einer Wahrscheinlichkeit, die an Gewifsheit grenzt:

1. Dafs der Stoff der Feuerkugeln ziemlich dicht sein mufs.

2. Dafs ein solch dichter Stoff sich nicht in einer so grofsen Höhe aus den in der Atmosphäre befindlichen Teilen zusammenziehen noch durch tellurische Kräfte hinaufgeworfen sein kann.

3. Dafs also der Stoff schon vorher im übrigen Weltraum vorhanden gewesen sein mufs und von dort auf unseren Planeten gelangt ist.

Es ist also meines Erachtens die einzige der Natur in keiner Weise widersprechende, und überdies noch durch die an dem Orte des Niederfallens gefundenen Massen bestätigte Theorie dieser Naturerscheinung folgende:

Sowie erdige, metallische und andere Substanzen den Grundstoff unseres Planeten ausmachen, wovon das Eisen unter die Hauptbestandteile gehört, und wie auch andere Weltkörper aus

---

[1]) Hevel, 1611 in Danzig geboren, starb daselbst im Jahre 1687. Er verfertigte die ersten Mondkarten und beschrieb in seiner Kometographie 400 Kometen.

[2]) Bergmann (1735—1784), hervorragender schwedischer Naturforscher, war Professor der Physik, Chemie und Mineralogie in Upsala und hat sich besonders um die chemische Erforschung der Mineralien verdient gemacht.

[3]) Man vergleiche mit dieser Bemerkung Chladnis, was Bacon über die Idole der Höhle sagt. Siehe 11, Seite 51.



ähnlichen oder vielleicht denselben Grundstoffen bestehen mögen[1]), ebenso sind auch viele zu kleineren Massen angehäufte Materien, welche mit keinem gröfseren Weltkörper in unmittelbarer Verbindung stehen, in dem Weltraume zerstreut. Sie bewegen sich in demselben, durch Wurfkräfte oder Anziehung getrieben, so lange fort, bis sie der Erde oder einem anderen Weltkörper nahekommen und, von deren Anziehungskraft ergriffen, darauf niederfallen. Bei ihrer äufserst schnellen Bewegung mufs notwendig infolge der heftigen Reibung an der Atmosphäre eine sehr starke Hitze erzeugt werden, wodurch sie in einen geschmolzenen Zustand[2]) geraten und Dünste im Innern entwickeln, welche die Masse zum Zerspringen bringen.

### Beispiele von an dem Orte des Niederfallens gefundenen Massen.

Bergmann[3]) äufsert in seiner physischen Erdbeschreibung den Wunsch, dafs man einmal Gelegenheit finden möchte, die Substanz einer niedergefallenen Feuerkugel zu untersuchen. Dieser Wunsch ist allem Anschein nach schon mehrere Male erfüllt worden; nur hat man immer die Naturerscheinung nicht für das gehalten, was sie wirklich gewesen ist.

Durch die Aussagen von sieben Zeugen, worüber von dem bischöflichen Konsistorium zu Agram, das die Sache durch Bevollmächtigte an Ort und Stelle hat untersuchen lassen, eine gerichtliche Urkunde abgefafst worden ist, wird bestätigt, dafs am 26. Mai 1751 um 6 Uhr nachmittags sich am Himmel eine feurige Kugel gezeigt habe. Dieselbe sei in der Agramer Gespanschaft zersprungen und in zwei Teilen, wobei man einen erst schwarzen, nachher vielfarbigen Rauch bemerkt habe, mit schrecklichem Getöse und mit solcher Gewalt herabgefallen, dafs die Erde wie bei einem Erdbeben davon erschüttert worden sei. Ein 71 Pfund schweres Stück sei auf einen 8 Tage zuvor gepflügten Acker gefallen, wo es 3 Klafter tief eingedrungen sei und eine Spalte von der Breite einer Elle verursacht habe. An der Spalte habe die Erde gleichsam ausgebrannt und grünlich geschienen. Ein anderes Stück von 16 Pfund Gewicht sei auf einer 2000 Schritt entfernten

---

[1]) Eine Annahme, welche später durch die Spektralanalyse ihre Bestätigung gefunden hat. Siehe 61.

[2]) Die Schmelzung ist indes nur eine oberflächliche.

[3]) Siehe Anm. [2]) auf Seite 143.

Wiese niedergefallen. Auch haben viele Leute in verschiedenen Gegenden des Königreichs die Zerteilung der Feuerkugel, sowie das Knallen und Krachen bemerkt. Beide Stücke schienen aus einerlei Materie zu bestehen. Das gröfsere ist nebst der Urkunde an das kaiserliche Naturalienkabinet in Wien geschickt worden, wo sich beides noch befindet. An diesem ganz aus gediegenem Eisen bestehenden Stück sind die Wirkungen der Hitze unverkennbar. Die Oberfläche ist voll kugeliger Eindrücke wie an der von Pallas gefundenen Masse.

Hierzu schreibt Stütz[1]): „Dafs das Eisen vom Himmel gefallen sein soll, mögen der Naturkunde Unkundige glauben; aber in unseren Zeiten wäre es unverzeihlich, solche Märchen auch nur wahrscheinlich zu finden.“ Stütz sucht die Erscheinung durch einen Blitz zu erklären, da die Elektricität imstande sei, Metalloxyde zu Metallen zu reduzieren, während ich aus Gründen, die teils angeführt sind, teils in der Folge angeführt werden sollen, behaupte, dafs diese Massen wirklich als der Stoff einer Feuerkugel herabgefallen sind und nicht durch die Wirkung eines Blitzes entstanden sein können.

Es sind noch viele Nachrichten von herabgefallenen Massen vorhanden, von denen freilich einige der älteren wegen der damals herrschenden Unwissenheit und Leichtgläubigkeit nicht sehr in Anschlag zu bringen sind[2]).

Die neueste sehr merkwürdige Nachricht von drei mit einem Donner herabgefallenen Massen, welche der Pariser Akademie der Wissenschaft im Jahre 1769 übersandt wurden, findet sich in der Histoire de l'Académie des sciences 1769. S. 20. Die beobachteten Umstände sind bei allen dreien die nämlichen gewesen, auch hat man die Massen heifs angetroffen. Alle drei waren einander ganz ähnlich, von der nämlichen Farbe und ziemlich dem nämlichen Korn; man konnte metallische und kiesige Teile unterscheiden; sie besafsen ferner eine harte eisenartige Rinde.

Die Akademie hat sich dahin geäufsert, sie halte die Übereinstimmung der an drei so entfernten Orten (Maine, Artois und Cotentin) beobachteten Thatsachen und die völlige Ähnlichkeit der Massen für hinlängliche Beweggründe, um die Beobachtung bekannt zu machen und andere Naturforscher zur Mitteilung weiterer Bemerkungen über diesen Gegenstand einzuladen.

[1]) Stütz (1747—1806) war Direktor des Wiener Naturalienkabinets.

[2]) Chladni führt noch die Berichte des Plinius (hist. nat. II, 56), Avicenna, Cardanus und anderer an.

### Nachrichten über die Pallasmasse und einigen ähnlichen auf gleiche Art entstandenen.

Die von Pallas[1]) in Sibirien gefundene und im dritten Bande seiner Reisen S. 311 beschriebene Eisenmasse ist den erwähnten Massen in vieler Hinsicht so ähnlich, dafs sich wohl schon daraus mit allem Rechte auf eine gleiche Entstehung schliefsen läfst. Es wird solches auch durch den von Pallas angegebenen Umstand, dafs die Tartaren diese Masse als ein vom Himmel gefallenes Heiligtum angesehen haben, sehr begünstigt. Die Masse wurde im hohen Schiefergebirge zu Tage liegend gefunden. Sie wog 1600 Pfund, hatte eine ganz unregelmäfsige Gestalt und war von einer eisensteinartigen Rinde umgeben. Das Innere bestand aus geschmeidigem, löcherigen Eisen, dessen Zwischenräume mit einem harten, bernsteingelben Glase (Olivin) ausgefüllt waren.

Im südlichen Amerika, in der Provinz Chaco, in einer Gegend, wo 100 Meilen im Umkreise keine Eisenbrüche, ja nicht einmal Steine anzutreffen sind, fand man eine aus dem kreideartigen Boden hervorragende etwa 300 Zentner schwere Masse vom geschmeidigsten, reinsten Eisen.

*Chladni weist dann ausführlich nach, dafs diese Eisenmassen weder auf nassem Wege, noch durch die Wirkung des Blitzes entstanden sein können, auch nicht vulkanischen Ursprungs sind. Da sich die Eigenschaften solcher von Pallas und anderen gefundenen Massen am besten mit den an Feuerkugeln beobachteten Erscheinungen in Einklang bringen lassen, auch die Lokalumstände, unter welchen man derartige Massen gefunden hat, auf einen kosmischen Ursprung hinweisen, nahm Chladni mit Recht an, dafs dieselben mit den Feuerkugeln identisch seien. Die Abhandlung bringt zum Schlufs aufser Vorschlägen zu weiteren Untersuchungen folgende Bemerkungen allgemeinerer Art:*

Der Satz, dafs im Weltenraume aufser den Weltkörpern noch viele kleinere Anhäufungen materieller Teile vorhanden sind, wird vielleicht manchem unglaublich genug scheinen, um deshalb die ganze vorgetragene Theorie zu verwerfen. Diese Unglaublichkeit beruht aber nicht auf Gründen, sondern darauf, dafs dieser Satz ungewöhnlich ist. Denn wenn man von jeder vorgefafsten Meinung

---

[1]) Siehe Anm. auf Seite 139.

abstrahiert, so wird man finden, dafs der Satz: es sind aufser den Weltkörpern und dem Äther keine materiellen Teile im Weltraume vorhanden, ebenso willkürlich ist, als der: es sind dergleichen vorhanden.

Sollte man etwa fragen, wie sie entstanden oder in einen solch isolierten Zustand gekommen sind, so wäre das fast dasselbe wie die Frage nach der Entstehung der Weltkörper. Was man sich auch für Hypothesen bilden mag, so mufs man doch entweder annehmen, dafs die Weltkörper, abgesehen von Revolutionen auf ihrer Oberfläche, immer das gewesen sind und sein werden, was sie jetzt sind, oder dafs in der Natur Kräfte vorhanden sind, um Weltkörper und ganze Weltsysteme zu bilden, zu zerstören und aus dem Stoffe wieder neue hervorzubringen. Für letztere Meinung sprechen wohl mehr Gründe als für die erstere. Ein solches Entstehen der Weltkörper läfst sich aber wohl nicht anders denken, als dafs entweder materielle Teile, die vorher in einem lockeren Zustande zerstreut gewesen sind, sich durch die Anziehungskraft zu grofsen Massen angehäuft haben, oder dafs eine Zerstückelung einer gröfseren Masse stattgefunden hat. Es widerspricht nun keiner dieser beiden Hypothesen, wenn man annimmt, dafs viele materielle Teile sich mit keiner zu einem Weltkörper sich anhäufenden gröfseren Masse vereinigt haben, sondern isoliert geblieben sind. Dieselben würden dann, durch Anziehung oder Stofs getrieben, ihre Bewegung durch den unendlichen Weltraum fortsetzen, bis sie einem Weltkörper so nahe kommen, dafs sie, von der Anziehung desselben ergriffen, darauf niederfallen und Erscheinungen, wie die in dieser Abhandlung erwähnten, verursachen.

Es ist merkwürdig, dafs Eisen der Hauptbestandteil der bisher gefundenen Massen ist, da man dasselbe nicht nur fast überall an der Oberfläche unserer Erde antrifft, sondern auch die magnetischen Erscheinungen auf einen beträchtlichen Vorrat dieses Metalls im Innern der Erde schliefsen lassen. Man kann daher vermuten, dafs das Eisen überhaupt zur Bildung der Weltkörper hauptsächlich beigetragen haben mag [1]).

Es ist auch, wenn die vorgetragene Theorie richtig ist, wahrscheinlich, dafs die anderen in manchen herabgefallenen Massen enthaltenen Stoffe, wie Schwefel, Kieselerde, Bittererde u. s. w.

[1]) **Auch diese Vermutung Chladnis ist später durch die spektralanalytische Untersuchung der Gestirne bestätigt worden. Siehe 61.**

nicht unserer Erde allein eigen sind, sondern mit unter die allgemeinen Materialien zur Bildung von Weltkörpern rechnen[1]).

---

## 26. Die Wellentheorie findet einen hervorragenden Verfechter. 1760.

### Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände der Physik und Philosophie[2]).

*Leonhard Euler wurde im Jahre 1707 in Basel geboren und entwickelte frühzeitig ein außerordentliches mathematisches Talent. 1744 wurde er Mitglied der Königlichen Akademie zu Berlin, folgte jedoch 1766 einem Rufe der Kaiserin Katharina II. nach St. Petersburg, wo er 1783 starb. Seitdem sich die Naturwissenschaft dem experimentellen Studium der optischen Erscheinungen zugewandt hatte, standen sich zwei Ansichten über die Natur des Lichtes gegenüber, die Emanationstheorie Newtons, welche in den nachfolgenden Briefen Eulers erörtert wird und die Wellen- oder Undulationstheorie von Huyghens (Siehe **16**). Euler stellte sich in einer Reihe von Abhandlungen (Denkschriften der Berliner Akademie von 1746—1752) auf Seite des letzteren. Trotzdem blieb Newtons Ansicht die herrschende, bis Fresnel 1820 die Polarisation des Lichtes durch die Annahme transversaler Ätherschwingungen erklärte. Näheres siehe im II. Band.*

Dritter Brief.

d. 26. April 1760.

Die Belehrung über die verschiedenen Grade von Geschwindigkeit, welche ich mir die Freiheit nahm, Ew. Hoheit zu geben,

---

1) Neuere Untersuchungen haben zu dem Ergebnis geführt, dafs sich mehr als 20 Elemente, die sämtlich auch an der Zusammensetzung der Erde beteiligt sind, als Bestandteile der Meteoriten nachweisen lassen. Die Annahme Chladnis, dafs das Universum im wesentlichen überall die gleiche chemische Zusammensetzung hat, steht auch mit der Kant-Laplaceschen Hypothese (Siehe **23** und **24**) im Einklang und hat durch die moderne Astrophysik ihre Bestätigung gefunden.

2) Aus Eulers „Lettres à une Princesse d'Allemagne sur quelques sujets de physique et de philosophie. Petersburg 1768", übersetzt von Friedrich Dannemann. Die Briefe sind an eine Prinzessin von Anhalt-Dessau gerichtet, welche Euler aufgefordert hatte, sie in der Physik zu unterweisen.

führt mich zur Betrachtung des Tones oder irgend eines Geräusches überhaupt. Ich teilte mit, dafs immer einige Zeit vergeht, bevor ein Ton zu unseren Ohren gelangt und zwar umso mehr Zeit, je weiter der Ort, wo der Ton hervorgerufen wird, von uns entfernt ist, sodafs der Schall, um sich auf eine Entfernung von 1000 Fufs fortzuflanzen, eine Sekunde braucht.

Diese Eigentümlichkeit führt uns auf die Frage, worin der Schall besteht, ob sich derselbe z. B. mit dem Geruche vergleichen läfst, d. h. sich in derselben Weise von dem tönenden Körper ausbreitet, wie eine Blume ihren Duft aussendet, indem sie die Luft mit feinen Ausdünstungen erfüllt und dadurch unseren Geruchssinn erregt. Man mag diese Vorstellung im Altertum gehabt haben, aber gegenwärtig sind wir durchaus überzeugt, dafs, wenn eine Glocke geläutet wird, nichts davon ausströmt, das in unsere Ohren gelangt; mit anderen Worten, dafs kein tönender Körper etwas von seiner Substanz verliert. Man braucht nur eine Glocke, wenn sie angeschlagen, oder eine Saite, wenn sie gestrichen ist, genau zu betrachten, und man wird bemerken, dafs diese Körper sich dann in einem Zustand der Erschütterung befinden, der sich auf alle ihre Teile erstreckt. Jeder Körper, der einer solchen Erschütterung seiner Teile fähig ist, vermag auch einen Ton zu erzeugen. An einer Saite, welche nicht allzu klein ist, kann man diese Schwingungen sehen. Es ist nun zu beachten, dafs die letzteren die benachbarte Luft in eine ähnliche Bewegung versetzen, die sich allmählich auf die entfernteren Luftteilchen fortpflanzt, bis sie unser Gehörorgan trifft. Die Luft also ist es, welche die Schwingungen empfängt und den Ton bis zu unseren Ohren trägt. Hören wir den Ton einer gestrichenen Saite, so erhält unser Ohr soviel Schläge wie die Saite Schwingungen in derselben Zeit gemacht hat. Macht z. B. die letztere 100 Schwingungen in einer Sekunde, so empfängt das Ohr auch 100 Stöfse in derselben Zeit, und die Wahrnehmung dieser Stöfse nennt man einen Ton. Folgen diese Stöfse gleichmäfsig auf einander, d. h. in gleichen Intervallen, so ist der Ton ein regelmäfsiger und ein solcher, wie man ihn in der Musik fordert; wenn aber die Stöfse ohne Regel aufeinander folgen, mit anderen Worten ihre Intervalle ungleich sind, so geht daraus ein Geräusch hervor, das zur Verwendung in der Musik gänzlich ungeeignet ist. Betrachten wir nun etwas eingehender die musikalischen Töne, deren Schwingungen gleichmäfsig vor sich gehen, so bemerken wir zuerst, dafs wenn die Schwingungen und infolgedessen auch die Erschütterungen, von

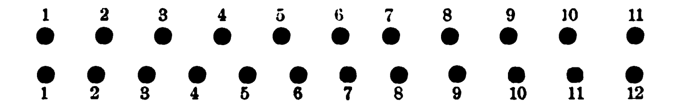
denen das Ohr getroffen wird, mehr oder weniger kräftig sind, daraus keine andere Veränderung hervorgeht, als dafs der Ton mehr oder weniger laut wird; und darin eben besteht die Verschiedenheit, welche die Musiker durch die Worte forte und piano bezeichnen. Ein viel wichtigerer Unterschied aber wird dadurch hervorgerufen, dafs die Schwingungen schneller oder langsamer erfolgen. Wenn z. B. eine Saite 100 Schwingungen in der Sekunde vollführt und eine andere 200, so werden die betreffenden Töne wesentlich von einander verschieden sein; und zwar wird der erste Ton tiefer, der zweite höher sein . . . . . . . . . . . .

### Vierter Brief.

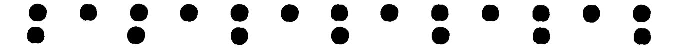
d. 29. April 1760.

. . . Wenn man einen einfachen musikalischen Ton vernimmt, so wird, wie ich erwähnte, unser Ohr von Erschütterungen getroffen, welche in gleichen Intervallen aufeinander folgen. Die einer bestimmten Zeit entsprechende Anzahl von Erschütterungen bewirkt ferner den Unterschied, der zwischen den tiefen und hohen Tönen stattfindet, dergestalt, dafs je kleiner diese Anzahl für eine gewisse Zeit, z. B. eine Sekunde ist, umso tiefer der Ton, und je gröfser die Anzahl, umso höher der Ton erscheint. Ein einfacher musikalischer Ton kann also mit einer Reihe gleich weit von einander entfernter Punkte verglichen werden. Sind die Abstände dieser Punkte mehr oder weniger grofs, so würde denselben ein tieferer, beziehungsweise höherer Ton entsprechen. Ohne Zweifel ist auch die Empfindung eines einfachen Tones dem Eindruck einer solchen Reihe gleich weit von einander entfernter Punkte ähnlich, und man kann auf diese Weise sichtbar machen, was das Ohr wahrnimmt, wenn wir einen Ton hören. Wären die Abstände der Punkte nicht gleich grofs, ihre Folge also regellos, so würde eine solche Reihe ein verworrenes, unharmonisches Geräusch zum Ausdruck bringen. Dies vorausgeschickt, wollen wir sehen, welche Wirkung zwei gleichzeitig erfolgende Töne haben werden. Zunächst ist klar, dafs wenn beide von gleicher Höhe sind, d. h. jeder auf derselben Anzahl Schwingungen beruht, das Ohr davon in gleicher Weise berührt wird wie von einem einzigen Ton. Die Musiker sagen dann, beide Töne seien unisono. Dies giebt den einfachsten Akkord, wenn man als Akkord die Vereinigung zweier oder mehrerer Töne bezeichnet. Sind aber die beiden Töne verschieden hinsichtlich ihrer Höhe, so wird man ein Zusammentreffen zweier Folgen

von Erschütterungen wahrnehmen. In derselben Folge sind die Intervalle gleich, aber in der einen gröfser als in der anderen, sodafs jene Folge dem tieferen, diese dem höheren Ton entspricht. Ein solches Zusammentreffen von zwei Tönen läfst sich dem Auge folgendermafsen durch zwei Punktreihen darstellen:




Um nun eine klare Vorstellung von diesen beiden Reihen zu haben, mufs man sich mit dem Gesetz, welches dieselben beherrscht, oder was dasselbe ist, mit dem Verhältnis der Zwischenräume innerhalb der beiden Reihen bekannt machen. Haben wir die Punkte beider Reihen numeriert und die ersten Punkte untereinander gesetzt, so werden die mit 2 bezeichneten Punkte sich nicht mehr genau untereinander befinden und noch weniger die mit 3 bezeichneten. Aber man sieht, dafs die Zahl 11 der oberen Reihe genau mit der Zahl 12 der unteren zusammentrifft, woraus hervorgeht, dafs der höhere Ton 12 Schwingungen vollendet, während der andere deren nur 11 macht. Indessen hätten wir nicht die Zahlen hinzugesetzt, so würde das Auge wohl nicht diese Gesetzmäfsigkeit entdecken, und dasselbe ist der Fall mit dem Ohr, welches auch nur schwierig die Beziehung zwischen den beiden, durch die Punktreihen dargestellten Tönen herausfinden würde. Aber in dieser Anordnung:



bemerkt man auf den ersten Blick, dafs die obere Reihe mal so viel Punkte enthält wie die untere, oder die Zwischenräume der letzteren doppelt so grofs sind wie die der ersteren. Offenbar ist dies nach dem unisono der einfachste Fall. Unser Ohr wird ohne Schwierigkeit das harmonische Verhältnis, welches zwischen diesen beiden Tönen besteht, wahrnehmen, während es in dem vorhergehenden Falle nur schwer oder gar nicht aufgefafst wird. Bemerkt nun unser Ohr leicht das Verhältnis, welches zwei Töne beherrscht, so nennt man ihren Zusammenklang eine Konsonanz, ist dagegen dies Verhältnis sehr schwierig oder gar nicht wahrzunehmen, so nennt man den Akkord eine Dissonanz. Die einfachste Konsonanz ist aber diejenige, bei welcher der hohe Ton genau mal so viel Schwingungen wie der tiefe vollzieht. Diese Konsonanz wird in der

Musik eine Oktave genannt; jedermann kennt den Eindruck, welchen sie hervorruft; ja, zwei Töne, die genau um eine Oktave von einander abstehen, klingen so gut zusammen und erscheinen einander so ähnlich, dafs die Musiker sie mit demselben Buchstaben bezeichnen. Auch bemerken wir in der Kirche, dafs die Frauen eine Oktave höher als die Männer singen und dennoch glauben, dafs sie denselben Ton anstimmen. Ew. Hoheit werden sich leicht von dem Gesagten auf einem Klavier überzeugen und den schönen Akkord zweier Töne, die um eine Oktave von einander abstehen, als etwas sehr Angenehmes empfinden, während zwei beliebige andere Töne nicht so gut zusammenklingen.

## Siebzehnter Brief.

d. 7. Juni 1760.

Nachdem ich soviel von den Sonnenstrahlen gesprochen habe, welche die Quelle aller Wärme und des Lichtes sind, dessen wir uns erfreuen, werden Ew. Hoheit gewifs fragen: was sind denn eigentlich die Sonnenstrahlen? Das ist ohne Zweifel eins der wichtigsten Probleme der Physik, mit dem eine Menge von Erscheinungen zusammenhängen. Die Philosophen des Altertums scheinen sich wenig um die Beantwortung dieser Frage bekümmert zu haben. Die meisten begnügten sich damit zu sagen, die Sonne sei mit einer gewissen Eigenschaft zu erwärmen und zu leuchten ausgestattet. Aber man darf mit vollem Rechte fragen, worauf diese Eigenschaft beruht. Kommt etwas von der Sonne selbst, nämlich von ihrer Substanz zu uns? Oder geschieht etwas Ähnliches wie bei der Glocke, deren Geläut wir hören, ohne dafs der geringste Teil derselben in unser Ohr gelangt, wie ich die Ehre hatte, Ew. Hoheit auseinanderzusetzen, als ich die Fortpflanzung und Wahrnehmung des Schalles erklärte. Descartes[1]), der erste unter den neueren Philosophen, vertrat letztere Meinung. Er dachte sich das gesamte Weltall angefüllt mit einer feinen, aus kleinen Kugeln bestehenden Materie. Ferner versetzte er die Sonne in eine beständige Bewegung, welche sich ohne Aufhören auf die Kügelchen

[1]) René Descartes (Cartesius), hervorragender französischer Philosoph und Mathematiker, lebte von 1596—1650. Um die Bewegung der Planeten zu erklären, nahm er eine den Weltraum erfüllende Äthermaterie an, welche sich in einer Art Wirbelbewegung um die Centralkörper befinde; diese feine Materie erfülle auch die Zwischenräume der Körper und vermittle die Fortpflanzung des Lichtes.

übertrage; letztere sollten dann ihre Bewegung in einem Augenblick durch die ganze Welt fortpflanzen. Seitdem man aber entdeckt hat, dafs die Strahlen von der Sonne nicht in einem Augenblick zu uns gelangen, sondern, dafs sie etwa 8 Minuten gebrauchen, um diese grofse Entfernung zu durcheilen[1]), hat man die Ansicht des Descartes aufgegeben. Später hat der grofse Newton die erste Meinung wieder aufgenommen und behauptet, die Strahlen gingen wirklich vom Körper der Sonne aus, indem äufserst feine Teilchen von derselben mit solch ungeheurer Geschwindigkeit fortgeschleudert würden, dafs sie in etwa acht Minuten bis zu uns gelangen. Diese Ansicht, welche heute die meisten Philosophen, zumal in England teilen, wird die Emanationstheorie genannt, weil man glaubt, dafs das Licht wirklich von der Sonne und den übrigen leuchtenden Körpern ausfliefse, etwa wie das Wasser aus einer Fontäne hervorsprudelt. Diese Annahme erscheint von vornherein sehr gewagt und vernunftwidrig; wenn nämlich die Sonne unausgesetzt und nach allen Richtungen solche Ströme von Lichtstoff mit einer solch wunderbaren Geschwindigkeit auswürfe, so müfste offenbar der Sonnenkörper dadurch bald erschöpft werden, oder man müfste wenigstens im Laufe der Jahrhunderte irgend eine Abnahme bemerken. Hiermit stehen aber die Beobachtungen nicht im Einklang. Gewifs würde ein Brunnen, der nach allen Seiten Wasser springen liefse, um so eher entleert sein, je gröfser die Geschwindigkeit desselben wäre; und so müfste es auch infolge der wunderbaren Geschwindigkeit der Lichtstrahlen dem Sonnenkörper ergehen. Mag man nun die Teilchen, aus welchen die Lichtstrahlen bestehen, noch so fein annehmen, man gewinnt damit nichts; diese Theorie ist und bleibt vernunftwidrig. Es genügt auch nicht einmal, dafs das Ausströmen rings herum nach allen Richtungen stattfände; denn man mag sich hinstellen, wohin man will, man sieht die Sonne vollständig. Diese Thatsache beweist unwiderleglich, dafs zu unserem Standpunkte Strahlen von allen Punkten der Sonne gelangen. Der Fall ist also sehr verschieden von dem eines Brunnens, selbst wenn derselbe Wasser nach allen Richtungen hin ausströmen liefse. Hier gelangt von einem Punkte nur ein Strahl nach einer bestimmten Gegend, und jeder Punkt wird nicht mehr als diesen einen Strahl aussenden; was aber die Sonne anbetrifft, so schickt jeder Punkt ihrer Oberfläche eine

[1]) Dafs sich das Licht mit endlicher Geschwindigkeit fortpflanzt, entdeckte Olaf Römer (1644—1710). Siehe 16, Seite 82, sowie Bd. II.

Unzahl von Strahlen aus, die sich nach allen Richtungen hin ergiefsen. Dieser einzige Umstand würde die Vergeudung, welche die Sonne mit der Lichtmaterie machen müfste, ins Unendliche erhöhen. Aber es bleibt noch eine andere Schwierigkeit, welche nicht geringer zu sein scheint: nicht nur die Sonne sendet Strahlen aus, sondern auch sämtliche Sterne. Es wären also überall Strahlen der Sonne und der Sterne anzutreffen, welche aufeinander prallen müfsten. Mit welcher Heftigkeit würde dieser Anprall erfolgen, und wie sehr dadurch die Richtung verändert werden? Ein ähnliches Durchkreuzen fände auch bezüglich aller übrigen leuchtenden Körper statt, die man gleichzeitig sieht. Nun erscheint aber jeder deutlich ohne die geringste Störung seitens der übrigen; und das ist der beste Beweis, dafs mehrere Lichtstrahlen durch denselben Punkt gehen können, ohne sich gegenseitig zu hindern, was mit der Emanationstheorie unvereinbar zu sein scheint. Man lasse nur einmal zwei Wasserstrahlen aufeinander treffen, so wird man sehen, wie sehr sie sich in ihrer Bewegung stören, und daraus folgern, dafs die Art der Lichtstrahlen wesentlich verschieden ist von derjenigen der Wasserstrahlen, überhaupt einer in Wurfbewegung befindlichen Materie. Betrachtet man ferner die durchsichtigen Körper, welche das Licht unbehindert und nach allen Richtungen hindurchlassen, so müssen die Anhänger jener Meinung noch dazu annehmen, dafs diese Körper geradlinige Zwischenräume besitzen, die von jedem Punkte der Oberfläche nach allen Richtungen ausgehen. Zum Sehen selbst ist endlich erforderlich, dafs die Strahlen in unser Auge gelangen und die Substanz desselben mit ihrer ungeheuren Geschwindigkeit durchschneiden. Alle diese Ungereimtheiten werden, denke ich, Ew. Hoheit genugsam überzeugen, dafs die Emanationstheorie unmöglich den Vorgängen in der Natur entsprechen kann; vielmehr werden Ew. Hoheit erstaunt sein, dafs eine derartige Theorie von einem so hervorragenden Manne aufgestellt und von so vielen erleuchteten Geistern angenommen werden konnte.

### Neunzehnter Brief.

d. 14. Juni 1760.

Ew. Hoheit haben soeben gesehen, dafs die Emanationstheorie unüberwindliche Schwierigkeiten im Gefolge hat. Gehen wir jetzt von der Annahme aus, dafs der Raum zwischen den Himmelskörpern mit einer äufserst feinen Materie erfüllt ist, die wir Äther nennen wollen. Um uns eine Vorstellung von demselben zu bilden,

brauchen wir nur die Luft zu betrachten. Diese ist zwar schon in der Nähe der Erdoberfläche eine sehr feine Materie, wird aber um so dünner, je mehr man in die Höhe steigt, um sich endlich sozusagen ganz zu verlieren oder vielmehr in den Äther überzugehen. Letzterer ist also eine Flüssigkeit wie die Luft aber unvergleichlich viel feiner und verteilter, da wir wissen, dafs die Himmelskörper ihn ungehindert durchschneiden, ohne in ihm einen merklichen Widerstand zu finden. Ohne Zweifel besitzt der Äther auch Elasticität, infolgedessen er sich nach allen Richtungen auszubreiten und jeden leeren Raum auszufüllen strebt, sodafs, wenn durch irgend einen Umstand der Äther von einem Orte entfernt würde, der benachbarte Äther sich augenblicklich dorthin stürzen und diesen Ort von neuem ausfüllen müfste. Infolge dieser Elasticität findet sich der Äther nicht nur in den höheren Regionen, aufserhalb unserer Atmosphäre, sondern er durchdringt dieselbe vollständig und dringt auch in die Zwischenräume aller irdischen Körper, sodafs er durch diese fast ungehindert hindurchgeht. Entfernt man also mittelst der Luftpumpe die Luft aus einem Gefäfse, so darf man nicht glauben, es befinde sich jetzt ein leerer Raum in demselben. Indem der Äther durch die Poren des Gefäfses tritt, erfüllt er dasselbe augenblicklich. Giefst man ferner Quecksilber in eine genügend lange Glasröhre und stellt daraus ein Barometer her, so glaubt man über dem Quecksilber einen leeren Raum zu erblicken, weil die Luft nicht durch das Glas dringen kann. Dieser nur scheinbar leere Raum ist aber gewifs mit Äther erfüllt, welcher ohne Schwierigkeit hineingelangt. Wir werden uns demnach eine hinreichend genaue Vorstellung vom Äther bilden, wenn wir ihn als flüssige der Luft ziemlich ähnliche Substanz betrachten, mit dem Unterschiede, dafs der Äther unvergleichlich viel feiner und viele Male elastischer ist als die Luft.

Da wir oben gesehen haben, dafs die Luft durch die nämlichen Eigenschaften geeignet ist, die Erzitterungen der tönenden Körper aufzunehmen und sie nach allen Richtungen fortzupflanzen, worin ja der Schall besteht, so ist es sehr natürlich, dafs der Äther unter ähnlichen Umständen Erschütterungen empfangen und sie nach allen Richtungen auf viel gröfsere Entfernungen vermitteln wird. Wenn nun die Schwingungen der Luft den Schall zur Folge haben, was meinen Sie, werden wohl die Erzitterungen des Äthers bewirken? Ich glaube, Ew. Hoheit werden es leicht erraten; es ist das Licht oder die Lichtstrahlen. Es ergiebt sich also, dafs das Licht rücksichtlich des Äthers dasselbe ist, was der

Schall in Beziehung zur Luft bedeutet, und dafs die Lichtstrahlen nichts anderes sind als durch den Äther fortgepflanzte Erzitterungen, ganz wie der Schall auf den Schwingungen beruht, in welche die Luft versetzt wird. In Wirklichkeit kommt also nichts von der Sonne zu uns, ebensowenig wie von einer Glocke, wenn ihr Geläut unser Ohr trifft. Man braucht auch nicht zu fürchten, dafs dieser Himmelskörper, indem er Licht spendet, die geringste Einbufse an Substanz erleide, ebensowenig wie eine Glocke, welche läutet. Was von der Sonne gilt, gilt aber auch von allen leuchtenden Körpern z. B. der Flamme einer Kerze. Ew. Hoheit werden vielleicht einwenden, dafs die irdischen Lichtquellen sich doch augenscheinlich verzehren und dafs, wenn sie nicht unablässig unterhalten werden, ihr Licht bald erlischt, wonach es scheint, dafs die Sonne sich in gleicher Weise aufzehren müfste und der Vergleich mit einer Glocke sehr wenig angebracht sei. Man mufs indes berücksichtigen, dafs unsere irdischen Lichtquellen nicht nur leuchten, sondern auch eine Menge Rauch und Ausdünstungen abgeben, die man von den Lichtstrahlen wohl unterscheiden mufs. Nun bewirken Rauch und Ausdünstungen in diesem Falle ohne Zweifel einen beträchtlichen Verlust, den man nicht den Lichtstrahlen zuschreiben darf. Könnte man nämlich den Rauch und die Ausdünstungen aufheben, so würde das blofse Leuchten keine Verminderung mit sich bringen. So kann man Quecksilber durch einen gewissen Kunstgriff in den leuchtenden Zustand versetzen, ohne dafs es an Substanz einbüfst[1]).

Man ersieht daraus, dafs blofses Leuchten durchaus keinen Gewichtsverlust herbeiführt. Obgleich also die Sonne die ganze Welt durch ihre Strahlen erhellt, giebt sie nichts von ihrer eigenen Substanz her. Ihr Licht wird vielmehr ausschliefslich durch eine gewisse Bewegung oder äufserst lebhafte Erzitterung ihrer kleinsten Teilchen bewirkt. Diese teilt sich dem benachbarten Äther mit und wird von dort nach allen Richtungen bis auf die gröfsten Entfernungen hin fortgepflanzt, in derselben Weise wie eine schwingende Glocke der Luft eine ähnliche Bewegung erteilt. Je mehr man diesen Vergleich zwischen tönenden und leuchtenden Körpern ausführt, um so zutreffender und in Übereinstimmung mit der Erfahrung wird man ihn finden, während die Emanationstheorie in dem Mafse Schwierigkeiten bietet, wie man sie auf die Erklärung der Naturerscheinungen anwenden will.

1) Durch Schütteln des Quecksilbers in einer evakuierten Glasröhre.

# 27. Die Entdeckung der elektrischen Influenz und der Pyroelektricität. 1758.

## Aepinus, von der Ähnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kraft[1]).

*Franz Ulrich Theodor Aepinus, geboren 1724 zu Rostock, war Professor der Astronomie in Berlin, dann Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Petersburg; starb 1802 in Dorpat.*

Dafs das Weltgebäude einen unendlich weisen Urheber hat, schliefsen wir vornehmlich daraus, dafs die Natur durch wenige und einfache Mittel unendliche und sehr zusammengesetzte Endzwecke zu erreichen gewohnt ist. Wer würde wohl, wenn er in der Naturlehre unwissend wäre, glauben, dafs ein Knabe, der mit einem Stück Bernstein Spreu und andere leichte Sachen anzieht, zugleich Donner und Blitz in seinen Händen hat. Halten es doch seit einiger Zeit die Forscher für ausgemacht, es sei ein und dieselbe Kraft, wodurch die Natur es zuwege bringt, dafs ein Stück Bernstein die Kinder ergötzt und eine von Donner und Blitz starrende Wolke einen sonst unerschrockenen Helden in Schrecken versetzt.

Unter denjenigen, welchen diese Gewohnheit der Natur bekannt ist, hat es Leute gegeben, denen beifiel, vielleicht kämen die magnetische und elektrische Kraft von einerlei oder doch ähnlichen Ursachen her. Es ist schon einige Jahre, seitdem ich auf gleiche Gedanken geraten bin und den Weg zu diesen Geheimnissen der Natur gesucht habe.

Wir haben es dem emsigen und sinnreichen französischen Naturforscher du Fay[2]) zu danken, dafs wir wissen, es gebe eine doppelte Elektricität. Es war diese Einsicht wie gewöhnlich

---

[1]) **Aepinus**, akademische Rede von der Ähnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kraft. Leipzig 1760.

[2]) **Charles François du Fay** wurde 1698 in Paris geboren und starb daselbst 1739. Du Fay beschäftigte sich viel mit magnetischen und elektrischen Versuchen, welche in den Abhandlungen der Pariser Akademie vom Jahre 1733 bis 1737 beschrieben wurden. Das wichtigste Resultat seiner Untersuchungen läfst sich in folgende zwei Sätze zusammenfassen: 1. Ein elektrischer Körper zieht alle nicht elektrischen an und teilt ihnen Elektricität mit, worauf er sie wieder abstöfst. 2. Es giebt zwei entgegengesetzte Arten der Elektricität, die Glas- und die Harzelektricität.

anfangs mangelhaft und unzureichend, indem dieser Mann dafür hielt, die eine Art der Elektricität sei dem Glase, die andere harzigen Körpern eigen, weil er zuerst jene nur am Glase, diese nur an harzigen Dingen wahrgenommen hatte. Jetzt wissen wir, dafs keine der beiden Arten von Elektricität einer oder der anderen Art der Körper wesentlich oder eigen sei, sondern dafs das Glas der harzigen Elektricität und die Harze der Glaselektricität fähig sind, ja dafs es keinen einzigen Körper giebt, dem nicht beide Arten der Elektricität mitgeteilt werden können. Nach der Entdeckung dieses Irrtums hatte man neue Namen nötig, damit nicht der Irrtum des Entdeckers zugleich mit den irrigen Bezeichnungen auf die Nachkommen gebracht würde. Die Naturforscher haben daher die früheren Benennungen fahren gelassen und die Elektricität in eine positive und negative eingeteilt, weil sie sahen, dafs Körper, welche mit dieser oder jener Art der Elektricität begabt sind, entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen. Obgleich nämlich die positiv und negativ elektrischen Körper darin völlig übereinstimmen, dafs sie die mit Elektricität nicht versehenen Körper an sich ziehen, so sind sie doch in Ansehung der Wirkung gegen andere gleichfalls elektrische Körper ganz und gar von einander verschieden. Der positiv elektrische stöfst diejenigen von sich, welche der negativ elektrische an sich zieht; der letztere dagegen stöfst diejenigen ab, welche der erstere anzieht.

Was kann nun wohl Ähnlicheres gedacht werden als die Gesetze der magnetischen Kraft und die erwähnten Gesetze. Dafs es eine doppelte Art der magnetischen Kraft giebt, wie bezüglich der Elektricität, ist bekannt. Sowohl der nördliche als der südliche Pol des Magneten ziehen ein nicht magnetisches Stück Eisen gleichmäfsig an. Dagegen zieht der nördliche Pol diejenige Seite eines anderen Magneten an sich, welche der südliche von sich stöfst, und hinwiederum zieht der südliche Pol die Seite an, welche der nördliche abstöfst. Es folgt somit der Magnet denselben Gesetzen, an welche die elektrischen Körper gebunden sind.

Es ist bisher kein Magnet, weder unter den aus der Erde gegrabenen noch unter den künstlichen, gefunden worden, der nur von einer einzigen Art der beiden erwähnten Magnetkräfte durchdrungen gewesen wäre; vielmehr ist nur allzu bekannt, dafs jeder Magnet beide Arten zugleich äufsert. Während wir auf der einen Seite des magnetischen Körpers die magnetische Kraft, die man nördlich nennt, antreffen, finden wir auf der anderen Seite zwar auch eine magnetische Kraft, aber diese ist immer südlich und

derjenigen entgegengesetzt, die auf der anderen Seite herrscht. Die elektrisierten Körper sind dagegen entweder ganz positiv oder ganz negativ elektrisch; doch meine man nicht, dafs sich die Ähnlichkeit mit den magnetischen hier gar nicht zeigen liefse.

Es bietet sich mir hier zuerst jener wunderbare ceylonische Stein, der mich auf diese Untersuchung geführt hat. Er heifst Turmalin; die Juweliere nennen ihn Aschentrecker oder Aschenzieher. Er ist hart, durchsichtig und hält ein starkes Feuer ohne Schaden aus, weshalb er unter die Edelsteine zu rechnen ist. Mit Hilfe vieler Versuche habe ich an diesem Steine eine doppelte Elektricität entdeckt und deutlich unterschieden, davon die erstere auf die gewöhnliche Art durch Reiben, die andere aber durch einen gewissen Grad der Wärme, die man dem Steine beibringt, erweckt wird.

Diejenige Elektricität, welche der Stein durch Reiben bekommt, ist von der Elektricität der glasartigen Körper gar nicht zu unterscheiden. Viel wundersamer ist die Elektricität, welche dem Steine durch die Wärme mitgeteilt wird. Nachdem er nämlich eine Wärme, welche diejenige des Blutes um ein Geringes übertrifft, erhalten hat, wird er elektrisch, und zwar im Verhältnis zu seiner Gröfse sehr lebhaft. Es zeigt sich aber alsdann eine grofse Ähnlichkeit mit dem Magneten, weshalb ich auch des Steines hier Erwähnung gethan habe. Es ist nämlich beständig die eine Seite des erwärmten Aschenziehers positiv, die andere aber negativ elektrisch. Er hat also, wie der Magnet eine doppelte Magnetkraft besitzt, beide Arten der Elektricität zugleich[1]).

Doch ist dies nicht das einzige Beispiel. Nach Franklin wissen wir, dafs eine Leydener Flasche, wenn sie auf die gewöhnliche Art mit Elektricität geladen ist und auf einer gläsernen Unterlage ruht, auf ihrer inneren Fläche sowohl als auf ihrer äufseren Elektricität zeigt, doch so, dafs diese Elektricitäten einander entgegengesetzt sind[2]).

Nimmt man ferner von irgend einer elektrisierbaren Materie ein dünnes Plättchen und reibt dasselbe an einer seiner Flächen

1) Diese durch Erwärmung erregte Elektricität, welche an gewissen Krystallen auftritt, hat man als Pyroelektricität bezeichnet. Bei der Abkühlung kehren sich die beiden Pole um; ist dagegen die Temperatur stationär geworden, so ist der Krystall wieder unelektrisch.

2) Franklin, New Experiments and Observations on Electricity. London 1769. Franklin erwähnt diese Entdeckung in seinem dritten Briefe vom 1. September 1747.

mit einem wollenen Tuche, während man an die andere Seite einen Finger bringt, so wird man finden, dafs beide Flächen Elektricität bekommen haben, jedoch wird die eine positiv, die andere negativ elektrisch sein.

Es ist bekannt, dafs der Magnet seine Kraft auch anderen aus Eisen bestehenden Körpern mitteilt und diese Verschwendung ohne allen Verlust geschieht, indem man niemals bemerkt hat, dafs ein Magnet dadurch einen Abgang seiner Kräfte erlitten hätte, dafs er dem Eisen seine Kraft verliehen. Damit ich die Sache deutlicher mache, will ich annehmen, es werde ein Eisenstab an irgend einen Pol des Magneten gebracht, doch so, dafs er ihn nicht berührt. Dieser Stab erhält sogleich einige, allmählich aber eine ziemlich beträchtlich werdende Magnetkraft, wobei es zugleich scheint, als ob der Magnet gleichsam mit fremdem Gut verschwenderisch wäre und das, was er selbst nicht hat, verschenkt. Dasjenige Ende des Stabes, welches dem Pole des Magneten am nächsten ist, bekommt nämlich immer den Magnetismus, welcher dem des Pols, gegen den es gekehrt ist, entgegengesetzt ist. Das andere Ende des Stabes dagegen erhält den Magnetismus, welchen der besagte Pol besitzt[1]).

Jetzt wollen wir sehen, was für Wirkungen die Elektricität unter ähnlichen Umständen hervorzubringen pflegt. Man denke sich einen Metallstab, der auf gläsernen Unterlagen liegt. An das eine Ende bringe man einen elektrisierten Körper heran, doch so, dafs es von diesem nicht berührt wird, sondern in einiger Entfernung davon bleibt. Es ist aus unstreitigen Erfahrungen gewifs, dafs alsdann der elektrisierte Körper die Elektricität in dem benachbarten Stabe ebenso erweckt, wie der Magnet seine Kraft dem Eisen giebt, und dafs dabei ebendieselbe Regel statthat, nach welcher der Magnet wirkt. Dasjenige Ende des Metallstabes nämlich, welches dem elektrisierten Körper am nächsten ist, bekommt die entgegengesetzte, das entferntere Ende erhält dagegen dieselbe Elektricität, welche der Körper hat, mit dem man den Versuch macht[2]). Bringt man also an den Metallstab eine gläserne Röhre heran, welche durch Reiben positiv elektrisch ist, so wird das Ende, welches gegen die Röhre gewendet ist, negativ, das andere Ende aber positiv elektrisch. Das Gegenteil aber ergiebt sich, wenn man anstatt der gläsernen Röhre einen Stab von

1) Magnetische Influenz.

2) Diese Erscheinung nennt man elektrische Verteilung oder Influenz.

Schwefel heranbringt, denn dieser bekommt durch Reiben negative Elektricität. Überdies ist die Ähnlichkeit der Erscheinungen so grofs, dafs hier eben das geschieht, was die Naturkundigen an dem Magneten so sehr bewundert haben. Denn sowohl die Versuche als die aus der Theorie gezogenen Schlüsse beweisen, dafs ein Körper durch eine solche Mitteilung seiner Elektricität keinen Abgang seiner Kräfte erleidet.

Bei einer geringen Veränderung der Versuche wird jedoch eine grofse Verschiedenheit der Erscheinungen wahrgenommen. Man bringe nämlich sowohl einen eisernen Stab dem Pole eines Magneten als auch einen metallenen, auf gläserner Unterlage befindlichen Stab einem elektrisierten Körper so nahe, dafs in beiden Fällen eine unmittelbare Berührung stattfindet. Man wird alsdann zwar bei dem Magneten noch das vorige Gesetz bemerken, denn das den Pol berührende Ende des eisernen Stabes wird immer den entgegengesetzten Magnetismus bekommen. Der zu elektrisierende Stab wird indes seiner ganzen Länge nach nur diejenige Art der Elektricität erhalten, welche derjenige Körper besitzt, mit dem er berührt wurde.

So wundersam auch die bisher betrachteten Eigenschaften des Magneten sind, so ist doch noch eine hervorragende übrig. Es ist jene bekannte Eigenschaft, welche dem unerschrockenen Seefahrer den Weg durch das unermefsliche Weltmeer zeigt, indem das eine Ende einer frei beweglichen Magnetnadel sich allezeit gegen Norden, das andere gegen Süden richtet.

Zur Erklärung dieser Erscheinung denke man sich eine Magnetnadel, welche nach allen Seiten frei beweglich ist und sich in der Nähe eines anderen grofsen unbeweglichen Magneten befindet. Da die gleichnamigen Pole einander abstofsen, die ungleichnamigen dagegen sich gegenseitig anziehen, so wird eine Magnetnadel, wenn sie in den Wirbel des grofsen Magneten kommt, sich bestreben, eine solche Lage zu erhalten, bei welcher die anziehenden und abstofsenden Kräfte, die auf die Nadel wirken, im Gleichgewichte sind. Es ist aber aus den Beobachtungen der Seefahrer gewifs, dafs die Magnetnadel, wenn sie in verschiedene Gegenden der Erdoberfläche kommt, bald diese, bald eine andere Lage hat, und dafs der Wechsel dieser Lagen demjenigen völlig ähnlich ist, welchen die Nadel erfährt, wenn sie um einen Magneten herumgeführt wird. Hieraus schliefsen die Naturforscher, dafs der Erdball selbst mit magnetischer Kraft versehen und für einen grofsen, obwohl schwachen Magneten zu halten sei. Man sieht also, dafs die Er-

scheinung der richtenden Kraft des Magneten nur von untergeordneter Art ist und gänzlich von der anziehenden und abstofsenden Kraft abhängt.

Wenn wir daher eine Vergleichung der Elektricität mit dem Magnetismus bezüglich der richtenden Kraft anstellen wollen, so müssen wir annehmen, dafs ein Körper, welcher an einem Ende positiv, am anderen negativ elektrisch ist, um einen gewissen Punkt eine freie Bewegung hat und einem anderen, unbeweglichen, gleichfalls mit elektrischen Polen versehenen Körper nahe kommt. Es ist klar, dafs die Veränderungen in der Lage dieses Körpers mit denen, welche man bei der Magnetnadel bemerkt, völlig übereinstimmen müssen. Denn die Gesetze, an welche die elektrische Anziehung und Abstofsung gebunden sind, sind denen, welche bei dem Magneten statthaben, höchst ähnlich; ähnliche Ursachen müssen aber ähnliche Erscheinungen hervorbringen.

Man hat einige Male bemerkt, dafs der Blitz, wenn er in ein Schiff einschlug und die Magnetnadel oder den Seekompafs traf, diesen sehr in Unordnung brachte, ja zuweilen die Pole der Nadel ganz umkehrte. Dadurch wurde Franklin veranlafst, den Schlag der Leydener Flasche durch einen eisernen Draht gehen zu lassen. Er fand, dafs derselbe sehr magnetisch geworden war. Es wäre leicht, hieraus auf eine Verknüpfung der Elektricität und des Magnetismus zu schliefsen und nicht nur eine Ähnlichkeit, sondern gar eine verborgene Gleichheit beider Kräfte zu mutmafsen. Da jedoch der elektrische Schlag die Teile des Körpers, durch den er geht, bis ins Innerste erschüttert und jede Erschütterung eines in gehöriger Lage gehaltenen Eisens den Magnetismus hervorbringt, so kann fast kein Zweifel bestehen, dafs es hier die blofse Erschütterung ist, welche den Magnetismus erregt.

Wir sehen, dafs die Ähnlichkeit der elektrischen und magnetischen Erscheinungen so grofs ist, dafs sie fast nicht gröfser sein könnte. Was hindert uns also, dafs wir nicht auch ähnliche Ursachen beider Kräfte annehmen, da es wahrscheinlich ist, dafs die Natur ähnliche Erscheinungen auf eine ähnliche Weise hervorbringt[1]).

---

[1]) Faraday gelang es, eine so weitgehende Verknüpfung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen nachzuweisen, dafs beide heute als Äufserungen ein- und derselben Naturkraft gelten. Elektricität, Magnetismus, strahlende Wärme und Licht werden jetzt auf Grund von Maxwells elektromagnetischer Theorie des Lichtes sowie der Versuche von Hertz auf Bewegungen des Äthers zurückgeführt.

# 28. Die Erfindung des Blitzableiters. 1753.

## Franklin über das Gewitter und ein in Amerika zur Anwendung gelangtes Verfahren, Gebäude und Menschen gegen Blitzgefahr zu schützen[1]).

*Benjamin Franklin wurde am 17. Januar 1706 zu Governors Island bei Boston als Sohn eines Seifensieders geboren und gehörte zur Klasse der self-made-men. Er hat sich durch seine politische Wirksamkeit grofse Verdienste um das Wohl der nordamerikanischen Republik erworben. Im Jahre 1746 sandte der Londoner Kaufmann Collinson einige Gegenstände für elektrische Versuche an die Bibliotheksgesellschaft in Philadelphia, wo Franklin Buchdrucker war und eine Zeitung herausgab. Mit einem wahren Feuereifer widmete sich dieser darauf der Erforschung der elektrischen Erscheinungen. Seine Resultate teilte er in einer Reihe von Briefen mit, die für die weitere Entwicklung der Elektricitätslehre von grofser Bedeutung waren und ihrem Verfasser die Mitgliedschaft der Royal Society eintrugen. Der berühmte Versuch Franklins, mittelst eines Drachens den Gewitterwolken Elektricität zu entziehen, fand im Juni des Jahres 1752 statt. Im September 1753 (im 12. Briefe) erfolgte der Vorschlag, Gebäude durch Blitzableiter zu schützen. Franklin starb am 17. April 1790 in Philadelphia.*

Die über die Elektricität angestellten Experimente führten die Forscher sehr bald auf die Vermutung, dafs die Gewittermaterie und das elektrische Fluidum identisch seien. Die Versuche, welche darauf mit der aus den Wolken durch spitze Stäbe gezogenen und in Flaschen gesammelten Gewittermaterie angestellt wurden, haben dann den Beweis geliefert, dafs diese Vermutung vollkommen begründet sei, und dafs alle Eigenschaften, welche man der Elektricität zuschreiben mufs, eben so viele Eigenschaften des Gewitters sind.

Die Gewitter- oder elektrische Materie ist eine äufserst feine Flüssigkeit, welche die anderen Körper durchdringt und sich in ihnen gleichmäfsig verteilt aufhält.

---

1) Experiments and observations on electricity made at Philadelphia in America by Benjamin Franklin, London 1769. Übersetzung des 59. Briefes S. 479 u. f. von F. Dannemann.

Wenn es sich infolge eines künstlich herbeigeführten oder eines natürlichen Vorganges ereignet, dafs diese Flüssigkeit in dem einen Körper in gröfserer Menge vorhanden ist als in einem anderen, so teilt der Körper, welcher mehr davon enthält, sie demjenigen mit, der weniger besitzt, bis die Verteilung eine gleichmäfsige geworden ist, vorausgesetzt, dafs der Abstand zwischen ihnen nicht zu grofs ist. Oder gesetzt, er wäre zu grofs, wenn nur Leiter vorhanden sind, welche diese Materie von dem einen zum anderen Körper zu führen vermögen[1]).

Erfolgt die Mitteilung durch die Luft ohne Vermittlung eines Leiters, so sieht man eine glänzende Lichterscheinung zwischen den Körpern und vernimmt dabei ein Geräusch. Bei unseren kleineren Versuchen nennen wir dieses Licht einen elektrischen Funken und das Geräusch ein elektrisches Knistern. Bei den grofsartigen in der Natur stattfindenden Entladungen ist dieses Licht dasjenige, was wir Blitz nennen, und das Geräusch (welches zu gleicher Zeit erzeugt wird, wenn es auch gewöhnlich später zu uns gelangt) und sein Wiederhall ist der Donner.

Wenn der Ausgleich dieser Flüssigkeit durch einen Leiter stattfindet, so kann derselbe ohne Licht und Geräusch vor sich gehen, weil sich die subtile Flüssigkeit in der Substanz des Leiters fortbewegt.

Ist der Leiter gut und von hinreichender Gröfse, so geht die Elektricität durch denselben hindurch, ohne ihn zu beschädigen; wo nicht, so beschädigt sie ihn oder zerstört ihn sogar.

Alle Metalle und das Wasser sind gute Leiter. Andere Körper, wie Holz und die übrigen zu Bauten gebrauchten Materialien, vermögen, falls sie eine gewisse Quantität Wasser enthalten, die Elektricität fortzuleiten. Enthalten sie aber nicht viel Wasser, so sind sie keine guten Leiter und werden daher oft bei einer Entladung beschädigt.

Glas, Wachs, Seide, Wolle, Haare, Federn und völlig trockenes Holz sind Nichtleiter, d. h. sie widerstehen dem Durchgange der Elektricität, anstatt ihn zu erleichtern. Wenn diesem Fluidum zwei Leiter zur Verfügung stehen, von denen der eine ein guter,

[1]) Franklin nahm also nur ein einziges elektrisches Fluidum an; er entwickelte seine Ansichten in den „New Experiments“ S. 54 ff. Franklins unitarische Theorie wurde durch die Theorie Symmers († 1763) verdrängt, nach welcher es zwei elektrische Fluida giebt, welche als positive und negative Elektricität unterschieden werden. Diese dualistische Theorie wird noch heute einer elementaren Erklärung der elektrischen Erscheinungen zu Grunde gelegt.



wie Metall, der andere aber weniger gut ist, so geht es in den besseren und folgt ihm in jeder Richtung.

Die Entfernung, in welcher ein mit Elektricität geladener Körper sich plötzlich entladet, indem dieselbe durch die Luft auf einen anderen Körper überspringt, der nicht oder weniger geladen ist, ist verschieden grofs, je nach der Menge der Elektricität, der Gröfse und Gestalt der Körper, sowie der Beschaffenheit der dazwischen befindlichen Luft. Dieser Abstand wird die Schlagweite genannt. Bevor die Körper sich innerhalb derselben befinden, tritt keine Entladung ein.

Die Wolken enthalten oft mehr Elektricität wie die Erde. In diesem Falle verläfst dieses Fluidum die Wolken und schlägt in die Erde, sobald sie nahe genug, d. h. in die Schlagweite kommen, oder sobald sie einen Ableiter antreffen. Wenn eine stark mit Elektricität geladene Wolke zu hoch ist, als dafs sie innerhalb der Schlagweite sein könnte, so zieht sie ruhig ohne Schall- und Lichterscheinungen vorüber, es wäre denn, dafs sie eine Wolke anträfe, die weniger stark geladen ist.

Grofse Bäume und hohe Gebäude, wie Burgen und Kirchtürme, werden zuweilen zu Leitern zwischen den Wolken und der Erde; aber sie werden oft dabei beschädigt, weil sie keine guten Ableiter sind, das heifst, weil sie die Elektricität nicht ungehindert durchlassen.

Gebäude, die mit Blei oder anderem Metall bedeckte Dächer und metallene Traufen haben, welche zur Ableitung des Wassers vom Dache bis in die Erde reichen, werden nie vom Blitze beschädigt, weil derselbe jedesmal, wenn er ein derartiges Gebäude trifft, in die Metalle und nicht in die Mauern schlägt.

Wenn andere Gebäude sich in der Schlagweite solcher Wolken befinden, so fährt die Elektricität in die Mauern, sie mögen aus Holz, aus Ziegeln oder Steinen bestehen, und verläfst sie nicht eher, bis sie bessere Leiter in der Nähe erreicht, wie metallene Stäbe, Riegel, Fenster- oder Thürangeln, vergoldetes Tafelwerk oder Bilderrahmen, Quecksilber hinter den Spiegeln, Glockenzüge oder lebende Wesen; letztere sind leitend, weil sie wässerige Flüssigkeiten enthalten. Bei ihrem Wege durch das Haus folgt die Elektricität der Richtung dieser Leiter und benutzt alle diejenigen, welche ihr den Durchgang, sei es in gerader oder krummer Linie, erleichtern. Sie springt, wenn der Abstand nicht zu grofs ist, von dem einen auf den anderen über und beschädigt das Gemäuer nur dort, wo die guten Leiter zu weit von einander entfernt sind. Wird ein eiserner Stab aufserhalb des Gebäudes angebracht, der ununterbrochen von

dem höchsten Teile bis in das feuchte Erdreich fortgeht, einerlei, ob in gerader Richtung oder gebogen, so nimmt derselbe den Blitz an seinem oberen Ende auf, indem er ihn so anzieht, dafs er ihn von einem Einschlagen in andere Teile abhält, und bietet ihm eine gute Leitung bis in die Erde. Auf diese Weise wird die Beschädigung irgend eines Teiles des Gebäudes verhindert. Man hat gefunden, dafs eine geringe Menge Metall imstande ist, ein grofses Quantum Elektriciät fortzuleiten. Ein eiserner Draht, der nicht stärker als eine Gänsefeder war, vermochte eine Elektricitätsmenge fortzuführen, die an seinen beiden Enden eine schreckliche Zerstörung anrichtete. Es ist wahrscheinlich, dafs dickere Stäbe nicht erforderlich sind, obgleich man sie in Amerika einen halben, drei viertel oder auch wohl einen ganzen Zoll stark zu machen pflegt.

Der Stab mufs an der Mauer, dem Schornstein u. s. w. mit eisernen Klammern befestigt werden. Der Blitz wird den Stab, der ein guter Leiter ist, nicht verlassen, um durch diese Klammern in die Mauer zu fahren, die ja die Elektricität schlecht leitet. Vielmehr würde, wenn sich von diesem Fluidum etwas in der Mauer befände, dasselbe in den Stab übergehen, um leichter durch diesen Leiter in die Erde zu gelangen.

Wenn das Gebäude sehr grofs ist, so kann man der gröfseren Sicherheit wegen zwei oder mehr Stäbe an verschiedenen Stellen errichten.

Das untere Ende des Stabes mufs so tief in den Boden geführt werden, dafs es eine feuchte Stelle erreicht. Wenn man den Stab dann biegt, um ihn horizontal sechs bis acht Fufs von der Mauer fortlaufen zu lassen, und ihn dann wieder drei bis vier Fufs abwärts gehen läfst, so schützt er alle Steine des Fundaments vor Beschädigung.

Fürchtet sich jemand sehr vor dem Gewitter, der sich während eines solchen in einem Hause ohne Blitzableiter befindet, so wird er gut thun, sich nicht in der Nähe des Kamins, eines Spiegels oder vergoldeter Gegenstände niederzusetzen. Der sicherste Platz ist inmitten der Stube (nur mufs es nicht unter einem metallenen, an einer Kette hängenden Kronleuchter sein), zumal wenn man sich dort auf einen Stuhl setzt und die Füfse auf einen anderen legt.

Noch sicherer würde es sein, zwei oder drei Matratzen oder Betten mitten in die Stube zu bringen, sie zusammenzulegen und den Stuhl darauf zu setzen. Da dieselben nämlich schlechter leiten als die Mauern, so wird der Blitz nicht durch die Luft des Zimmers darauf überspringen, sondern seinen Weg durch die

Mauer, welche ein besserer Leiter ist, fortsetzen. Eine Hängematte, die an seidenen Schnüren in gleicher Entfernung von den vier Wänden, der Decke und dem Fufsboden hängt, verschafft die gröfste Sicherheit und scheint in der That gegen jede Blitzgefahr vollkommenen Schutz zu gewähren.

## 29. Scheele entdeckt den Sauerstoff und analysiert die atmosphärische Luft. 1773.

### Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer von C. W. Scheele[1]).

*Carl Wilhelm Scheele, 1742 in Stralsund geboren, wurde mit 14 Jahren Apothekerlehrling, dann Besitzer einer Apotheke zu Köping in Schweden, wo er 1786 starb. Scheele hat die Chemie mit einer Fülle neuer Beobachtungen und Entdeckungen bereichert. Allein seine Arbeiten über den Braunstein führten zur Entdeckung des Chlors, Mangans und Sauerstoffs. Priestley stellte letzteres Element ein Jahr später (1774) als Scheele, und zwar aus rotem Quecksilberoxyd her. Die Abhandlung von der Luft und dem Feuer ist Scheeles Hauptwerk; nachfolgende Zeilen stellen einen Auszug der §§ 1—50 desselben dar.*

Die Körper geschickt in ihre Bestandteile zu zerlegen, die Eigenschaften derselben zu entdecken und sie auf verschiedene Art zusammenzusetzen, ist der Hauptzweck der Chemie. Wie schwer es aber ist, dergleichen Verrichtungen mit der gröfsten Genauigkeit ins Werk zu setzen, kann nur demjenigen fremd sein, der diese Beschäftigung niemals oder doch nicht mit genügender Aufmerksamkeit unternommen hat. Bisher sind die Chemiker noch nicht einig, aus wieviel Grundstoffen alle Körper zusammengesetzt sind, ja einige halten dafür, dafs die Elemente der Körper auszuforschen gar keine Hoffnung mehr übrig sei. Schlechter Trost für diejenigen, welche ihr gröfstes Vergnügen in der Untersuchung

[1]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 58. Herausgegeben von W. Ostwald. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894. Der Abdruck ist nach der zweiten 1782 erschienenen Auflage erfolgt. Die erste Auflage erschien 1777.



der natürlichen Dinge zu haben glauben! Andere nehmen an, dafs die Erde und das Phlogiston[1]) dasjenige ist, woraus die ganze körperliche Natur ihren Ursprung genommen hat. Die meisten scheinen den peripatetischen Elementen[2]) gänzlich zugethan zu sein. Man mufs über die vielen Ideen und Mutmafsungen staunen, welche die Schriftsteller in dieser Hinsicht aufgezeichnet haben, zumal wenn sie über die Erklärung der Feuererscheinung einen Ausspruch thun. Ich fing daher an, alle Erklärungen vom Feuer an die Seite zu setzen und unterzog mich einer Menge von Versuchen, um diese so herrliche Erscheinung so viel wie möglich zu ergründen. Ich merkte aber bald, dafs man ohne die Erkenntnis der Luft über die Erscheinungen, welche das Feuer darbietet, kein wahres Urteil fällen könne.

Die Luft ist eine flüssige unsichtbare Substanz, welche wir beständig einatmen, welche den Erdboden überall umgiebt, sehr elastisch ist und eine gewisse Schwere besitzt. Sie ist beständig mit einer erstaunlichen Menge von allerlei Ausdünstungen erfüllt. Unter diesen fremden Bestandteilen hat der Wasserdunst das Übergewicht. Die Luft ist aber noch mit einem anderen elastischen luftähnlichen Körper vermischt, welcher in vielen Eigenschaften von ihr abweicht und Luftsäure genannt wird[3]). Sie verdankt ihr Dasein den durch Fäulnis oder Verbrennung zerstörten organisierten Körpern. Nichts hat den Naturforschern seit einigen Jahren mehr zu schaffen gemacht als eben diese Säure oder sogenannte fixe Luft. Viele glauben, dafs die Luft an und für sich unveränderlich ist, dafs sie sich zwar mit Körpern verbinde und alsdann ihre Elasticität verliere, aber ihre frühere Natur wieder erhalte, sobald sie durch Feuer oder Gährung ausgetrieben werde. Da sie aber sehen, dafs diese hervorgekommene Luft mit ganz anderen Eigenschaften als die gemeine Luft begabt ist, so schliefsen sie ohne Erfahrungsbeweise, dafs diese Luft sich mit fremden Materien verbunden habe, und dafs man solche Luft durch Schütteln und Filtrieren mit verschiedenen Flüssigkeiten von solchen Beimengungen

[1]) Die Feuermaterie, welche nach der im 18. Jahrhundert geltenden Ansicht, der auch Scheele huldigte, einen Bestandteil aller brennbaren Körper bildete und bei der Verbrennung entwich. Das wahre Wesen der Verbrennung erkannte erst Lavoisier (Siehe 30, S. 174).

[2]) Feuer, Erde, Luft und Wasser.

[3]) Gemeint ist Kohlendioxyd, $CO_2$, welches 0,03 % der atmosphärischen Luft ausmacht und mit Wasser die eigentliche Kohlensäure bildet ($CO_2 + H_2O = H_2CO_3$). Sie wird von Scheele im Nachstehenden auch fixe Luft genannt.

reinigen müsse. Ich glaube, dafs man kein Bedenken hiergegen tragen würde, wenn man nur durch Versuche deutlich darthun könnte, dafs eine gegebene Menge Luft durch Zumischung fremder Materien gänzlich in fixe oder eine andere Luftart sich verwandeln liefse. Da dies aber noch nicht geschehen ist, so hoffe ich nicht fehlzugehen, wenn ich so viele Arten Luft annehme, wie die Erfahrung mir zeigt.

Folgendes sind die allgemeinen Eigenschaften der gewöhnlichen Luft.

1. Das Feuer mufs eine gewisse Zeit in einer gegebenen Menge Luft brennen.

2. Wenn dieses Feuer während des Brennens kein der Luft ähnliches Fluidum von sich giebt, so mufs die Luftmenge, nachdem das Feuer von selbst ausgelöscht ist, um den dritten bis vierten Teil verringert sein.

3. Mufs sie sich mit dem Wasser nicht verbinden.

4. Alle Arten von Tieren müssen eine gewisse Zeit in einer abgeschlossenen Menge Luft leben.

5. Samen, wie z. B. Erbsen, müssen in einer gegebenen Menge Luft mit Hülfe von etwas Wasser und einer mäfsigen Wärme sowohl Wurzel schlagen, als auch eine gewisse Höhe erreichen.

Wenn ich folglich eine dem äufseren Ansehen nach der Luft ähnliche Flüssigkeit habe und finde, dafs diese die angeführten Eigenschaften nicht hat, oder dafs ihr auch nur eine fehlen sollte, so halte ich mich für überzeugt, dafs es nicht die gewöhnliche Luft sei.

### Nachstehende Versuche beweisen, dafs die Luft aus elastischen Flüssigkeiten von zweierlei Art zusammengesetzt ist.

a) Ich löste eine Unze Schwefelleber[1]) in acht Unzen Wasser auf. Von dieser Lösung gofs ich vier Unzen in eine leere Flasche, welche vierundzwanzig Unzen Wasser fafste und schlofs dieselbe mit einem Kork aufs Genaueste. Darauf drehte ich die Flasche um und setzte den Hals in ein kleines Gefäfs mit Wasser. In dieser Stellung beliefs ich sie vierzehn Tage. Darauf nahm ich die

[1]) **Ein durch Zusammenschmelzen von Schwefel und Pottasche ($K_2CO_3$) erhaltenes Präparat, das im wesentlichen aus Schwefelkalium besteht und begierig Sauerstoff aufnimmt. Eine Unze = 1/12 Medizinalpfund = 29,232 g.**



Flasche und hielt sie in eben solcher Stellung in ein gröfseres Gefäfs mit Wasser, sodafs der Kopf unter der Wasserfläche war und zog den Kork unter Wasser ab. Sogleich drang das Wasser mit Heftigkeit in die Flasche ein. Ich verschlofs dieselbe wieder, zog sie aus dem Wasser und wog die in ihr enthaltene Flüssigkeit, welche 10 Unzen betrug. Zieht man die vier Unzen Schwefelleberauflösung davon ab, so bleiben sechs Unzen. Folglich erhellt aus diesem Versuch, dafs sechs von zwanzig Teilen Luft in vierzehn Tagen verloren gegangen waren.

b) Ich wiederholte den vorhergehenden Versuch mit derselben Menge Schwefelleber, jedoch mit dem Unterschiede, dafs ich die Flasche genau zugemacht nur eine Woche stehen liefs. Darauf fand ich, dafs nur vier Teile Luft von zwanzig Teilen verloren gegangen waren[1]).

c) Ich löste zwei Unzen Eisenvitriol in zweiunddreifsig Unzen Wasser; diese Lösung fällte ich mit Kalilauge. Nachdem der Niederschlag[2]) sich gesetzt hatte, gofs ich das Klare ab und brachte die erhaltene dunkelgrüne Masse in die vorerwähnte Flasche und verstopfte sie genau. Nach vierzehn Tagen waren zwölf Teile von vierzig Teilen Luft verloren gegangen.

d) Wird Eisenfeile mit etwas Wasser angefeuchtet und in einer wohl verschlossenen Flasche einige Wochen aufbewahrt, so geht ebenfalls ein Teil der Luft verloren[3]). In keinem der erhaltenen Rückstände der Luft kann irgend ein Licht brennen, noch der geringste Funke erscheinen.

e) In einen dünnen Kolben, welcher dreifsig Unzen Wasser fafste, legte ich neun Gran Phosphor und verschlofs die Mündung auf das Genaueste. Darauf erhitzte ich die Stelle des Kolbens, wo der Phosphor lag. Derselbe fing an zu schmelzen und entzündete sich; der Kolben wurde mit einem weifsen Nebel angefüllt, welcher sich an die Wände wie weifse Blumen anlegte. Dies war die trockene Säure des Phosphors[4]). Nachdem der Kolben wiederum

---

1) Dies ist annähernd das richtige Verhältnis. Das verschwundene Fünftel war Sauerstoff, der von der Schwefelleber gebunden wurde.

2) Der Niederschlag ist Ferrohydroxyd: $FeSO_4 + 2KOH = Fe(OH)_2 + K_2SO_4$. Dasselbe geht unter Aufnahme von Wasser und Sauerstoff leicht in Ferrihydroxyd über: $Fe(OH)_2 + H_2O + O = 2Fe(OH)_3$.

3) Das Eisen verwandelt sich unter Aufnahme von Wasser und Sauerstoff in Rost.

4) Wir würden sagen Phosphorsäureanhydrid: $2P + 5O = P_2O_5$.



kalt geworden war, hielt ich ihn umgekehrt unter Wasser und öffnete ihn. Kaum war dies geschehen, so drückte die äufsere Luft das Wasser in den Kolben; dieses Wasser wog neun Unzen[1]).

f) In ein Glas, welches zwei Unzen Wasser enthalten konnte, legte ich drei Theelöffel voll Eisenfeilspäne, hierzu gofs ich eine Unze Wasser und setzte nach und nach eine halbe Unze Vitriolöl hinzu. Es entstand eine heftige Erhitzung und Gasentwickelung. Als der Schaum sich etwas gelegt hatte, steckte ich einen genau schliefsenden Korkstöpsel in das Glas, durch welchen ich vorher eine gläserne Röhre gesteckt hatte. Dieses Glas stellte ich in ein Gefäfs mit heifsem Wasser BB. Darauf fuhr ich mit einem brennenden Licht über die Öffnung der Röhre hin, so dafs sich die brennende Luft[2]) entzündete und mit einer kleinen gelblich-grünen Flamme brannte. Sobald dies geschehen, nahm ich einen Kolben C, welcher zwanzig Unzen Wasser enthalten konnte und hielt denselben so tief ins Wasser, dafs die kleine Flamme sich mitten im Kolben befand. Sogleich fing das Wasser an allmählich zu steigen, und als es die Höhe D erreicht hatte, erlosch die Flamme. Der Raum im Kolben bis D enthielt vier Unzen, also war der fünfte Teil der Luft verloren gegangen. Ich gofs einige Unzen Kalkwasser in den Kolben, um zu sehen, ob etwa während des Brennens etwas Luftsäure entstanden sei; ich fand aber dergleichen nicht. Mit Zinkfeile habe ich eben diesen Versuch angestellt, welcher in allen Stücken dem jetzt erwähnten glich[3]).

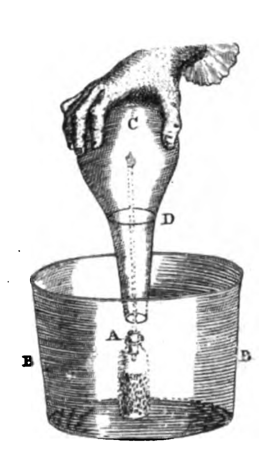


Fig. 22 (Aus Scheeles Abhandlung von der Luft und dem Feuer).

g) Ich mischte so viel konzentrierte Schwefelsäure mit fein zerriebenem Braunstein, dafs ein dicker Brei entstand. Diese

[1]) Man sieht, Genauigkeit bei quantitativen Bestimmungen war nicht Scheeles Sache. Es konnten sich nur 6 Unzen ergeben, da $^1/_5$ der Luft, der Sauerstoff nämlich, absorbiert war.

[2]) Wasserstoff, der sich bei diesem Versuche nach folgender Gleichung entwickelt: $Fe + H_2SO_4 = 2H + FeSO_4$.

[3]) $Zn + H_2SO_4 = 2H + ZnSO_4$. Das Kalkwasser würde sich bei Gegenwart von Luftsäure ($CO_2$) unter Bildung von kohlensaurem Kalk ($CaCO_3$) getrübt haben.

Mischung erhitzte ich in einer kleinen Retorte über offenem Feuer. Statt eines Recipienten brauchte ich eine luftleere Blase. Sobald der Boden der Retorte glühte, ging eine Luftart über, welche die Blase nach und nach ausdehnte. Ich füllte ein Glas, welches zehn Unzen Wasser enthielt, mit dieser Luftart; darauf stellte ich ein kleines angezündetes Licht hinein. Kaum war dies geschehen, so fing das Licht an mit einer grofsen Flamme zu brennen, wobei es einen so hellen Schein von sich gab, dafs es die Augen blenden konnte. Ich mischte einen Teil dieses Gases[1]) mit drei Teilen derjenigen Luft, in welcher das Feuer nicht mehr brennen wollte; so erhielt ich eine Luft, welche der gewöhnlichen in allen Stücken gleich war. Da das erstere Gas notwendig zur Entstehung des Feuers erfordert wird und etwa den dritten Teil unserer atmosphärischen Luft ausmacht, so werde ich es künftig Feuerluft nennen; die andere Luftart aber, welche zur Unterhaltung des Feuers gar nicht dienlich ist und etwa zwei Drittel unserer Atmosphäre bildet, will ich in der Folge mit dem Namen verdorbene Luft[2]) belegen.

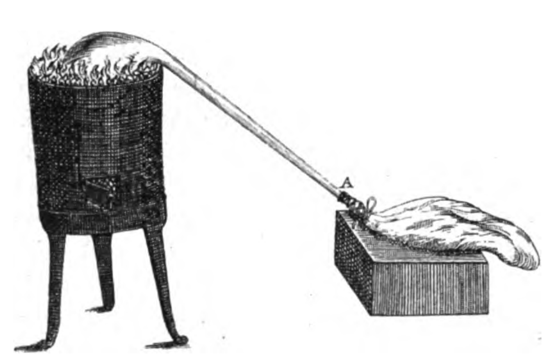



Fig. 23 (Aus Scheeles Abhandlung von der Luft und dem Feuer).

h) Ich erhitzte eine Unze gereinigten Salpeter in einer gläsernen Retorte und gebrauchte eine feucht gemachte und von Luft entleerte Blase zum Auffangen. Sobald der Salpeter zu glühen anfing, wurde die Blase von dem übergehenden Gase ausgedehnt. Ich fuhr mit dem Erhitzen so lange fort, bis die Gasentwickelung in der Retorte aufhörte. In der Blase erhielt ich reine Feuerluft, welche den Raum von fünfzig Unzen Wasser ein-

[1]) Sauerstoff, der sich aus Braunstein durch Einwirkung der Schwefelsäure nach folgender Gleichung entwickelt:

$$MnO_2 + H_2SO_4 = MnSO_4 + H_2O + O.$$

Scheele gebraucht für Sauerstoff den Namen Feuerluft.

[2]) Lavoisier nannte dieses Gas Azote (α privativum und ζωή, Leben), was im Deutschen durch das Wort Stickstoff wiedergegeben wurde.

nahm. Dieses ist die beste und wohlfeilste Methode, die Feuerluft zu bekommen[1]).

i) Ich füllte ein Glas, welches sechszehn Unzen Wasser enthalten konnte, mit reiner Feuerluft. Dieses Glas setzte ich umgekehrt in ein Gefäfs, welches mit einer Lösung von Schwefelleber gefüllt war (siehe Versuch a). Die Lösung stieg alle Stunden ein wenig, und nach Verlauf von zwei Tagen war das Glas ganz damit gefüllt.

k) Ich mischte in einer Flasche vierzehn Teile von derjenigen Luft, von welcher (Versuch a) die Feuerluft durch Schwefelleber geschieden worden war und welche ich verdorbene Luft genannt habe, mit vier Teilen unserer Feuerluft und setzte diese Flasche umgekehrt und offen in ein Gefäfs, das mit einer Lösung von Schwefelleber gefüllt war. Nach vierzehn Tagen waren die vier Teile Feuerluft verschwunden, und die Lösung war an ihre Stelle getreten.

l) In ein Glas von sieben Unzen, welches mit Feuerluft gefüllt war, legte ich ein Stück Phosphor und verschlofs es mit einem Kork. Darauf erhitzte ich die Stelle, wo der Phosphor lag. Derselbe verbrannte mit einem sehr hellen Glanz. Sobald die Flamme erloschen war, zersprang das Glas.

m) Da das Glas im vorhergehenden Versuch sehr dünn war, wiederholte ich diesen Versuch mit einem etwas dickeren Glase, und nachdem alles kalt geworden war, drückte ich den Kork unter Wasser völlig in das Glas hinein. Da fuhr das Wasser in das Glas und füllte es beinahe gänzlich aus. Da das erstere Glas nur dünn war, so mufs man wohl der äufseren Luft zuschreiben, dafs es zerdrückt wurde.

n) Als ich die verdorbene Luft mit einem Drittel der Feuerluft mischte und ein Stück Phosphor in dieser Luftmischung verbrannte, wurde auch nur der dritte Teil davon absorbiert.

Ich fand, dafs die verdorbene Luft leichter als die atmosphärische Luft ist. Mufs nicht daraus folgen, dafs die Feuerluft schwerer als die letztere ist? Gewifs, ich fand wirklich, dafs, nachdem ich soviel Feuerluft, wie zwanzig Unzen Wasser Raum einnehmen,

---

1) Salpeter giebt beim Erhitzen Sauerstoff unter Bildung von salpetrigsaurem Kalium: $KNO_3 = KNO_2 + O$.



genau wog, diese Menge fast zwei Gran schwerer war als ebensoviel gewöhnliche Luft[1]).

Es zeigen also unsere Versuche, dafs die Feuerluft eben das Gas ist, vermittelst dessen das Feuer in der atmosphärischen Luft unterhalten wird. Sie ist darin nur mit einer Luftart vermischt, die zum Brennbaren gar keine Anziehung zu haben scheint und diese ist es, welche der sonst zu schnellen und heftigen Entzündung etwas Hinderung in den Weg legt. Und in der That, bestünde die Luft aus lauter Feuerluft, so würde das Wasser zum Löschen der Feuersbrünste wohl wenig Nutzen schaffen.

---

# 30. Lavoisier erklärt die Verbrennungserscheinungen. 1774.

## Die Zerlegung der atmosphärischen Luft[2]).

*Antoine Laurent Lavoisier wurde am 26. August 1743 zu Paris geboren. Bereits im Jahre 1768 wurde er Mitglied der Akademie, der er 1772 die Mitteilung machte, dafs nach seinen Versuchen bei der Verbrennung das Gewicht der Körper unter Absorption von Luft zunehme. Sobald Lavoisier mit dem von Priestley und Scheele (Siehe 29) entdeckten Sauerstoff bekannt geworden war, fand er auch die richtige Erklärung für diese Erscheinung. Eine übersichtliche Darstellung der Chemie auf Grund seiner „antiphlogistischen“ Theorie[3]) gab er 1789 in dem „Grundrifs der Chemie“ (Traité élémentaire), dessen drittes Kapitel hier vorliegt. Lavoisier fiel als ein Opfer der Schreckensherrschaft am 8. Mai 1794.*

Über unsere Atmosphäre läfst sich vorweg behaupten, dafs sie aus der Vereinigung aller derjenigen Stoffe bestehen mufs, welche bei mittleren Temperatur- und Druckverhältnissen den gasförmigen

---

1) Die Gewichte gleicher Volumina Stickstoff und Sauerstoff verhalten sich bekanntlich wie die Atomgewichte, also wie 14 : 16, während sich die Gewichte von Stickstoff, atmosphärischer Luft und Sauerstoff wie 14 : 14,44 : 16 verhalten.

2) Lavoisier, Traité élémentaire de chimie. 1. Bd. der 1862—68 vom französischen Unterrichtsministerium herausgegebenen Werke Lavoisiers, 3. Kapitel, übersetzt von F. Dannemann.

3) Siehe darüber Bd. II.



Zustand beibehalten. Diese Gase bilden eine Masse von nahezu gleicher Zusammensetzung bis zu den gröfsten Höhen, zu welchen man bisher emporgestiegen ist. Ihre Dichtigkeit wird in dem Mafse kleiner je geringer der Druck ist, der auf ihr lastet. Immerhin ist es aber möglich, dafs die uns bekannte Schicht von einer oder mehreren ganz anders zusammengesetzten Lagen bedeckt ist.

Wir wollen jetzt die Zahl und die Natur der Gase feststellen, welche die uns umgebende Schicht bilden. Das Experiment soll uns darüber aufklären. Die Chemie giebt im allgemeinen zwei Mittel an die Hand, die Zusammensetzung einer Substanz zu bestimmen, die Synthese und die Analyse. Man darf sich auf chemischem Gebiete nicht eher zufrieden geben, bis man diese beiden Arten der Prüfung hat vereinigen können.

Diesen Vorteil bietet die Untersuchung der atmosphärischen Luft; sie läfst sich zerlegen und wieder zusammensetzen, und ich werde mich darauf beschränken, hier die wichtigsten Experimente anzuführen, welche in dieser Hinsicht gemacht sind. Es ist fast keines darunter, das nicht mir angehörte, sei es, dafs ich dieselben zuerst anstellte, sei es, dafs ich sie unter einem neuen Gesichtspunkt wiederholte, nämlich mit Bezug auf die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft.

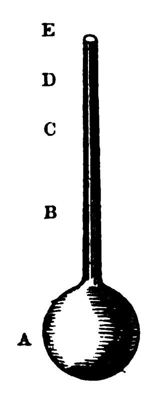



Fig. 24 (Lavoisier, Oeuvres. Tome I. Pl. II, Fig. 14).

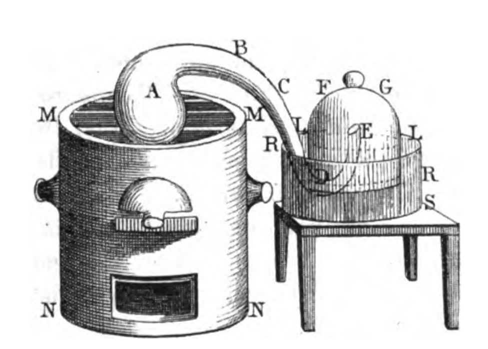



Fig. 25 (Lavoisier, Oeuvres. Tome I, Pl. IV, Fig. 2).

Ich nahm einen Kolben (Fig. 24) von etwa 36 Kubikzoll Inhalt, dessen Hals BCDE sehr lang war. Ich bog ihn, wie man es in Fig. 25 abgebildet sieht, in der Weise, dafs er in einen Ofen MMNN

gelegt werden konnte, während das Ende E unter der Glocke FG mündete, welche in eine Quecksilberwanne RR gesetzt war. In diesen Kolben brachte ich vier Unzen[1]) sehr reines Quecksilber. Indem ich darauf einen Heber unter die Glocke FG führte und sog, hob sich das Quecksilber bis LL; ich bezeichnete dieses Niveau sorgfältig mit einem geleimten Papierstreifen und beobachtete genau den Barometerstand und die Temperatur.

Nachdem diese Vorbereitungen getroffen waren, zündete ich in dem Ofen ein Feuer an und unterhielt dasselbe fast ununterbrochen zwölf Tage lang, so dafs das Quecksilber bis zu seinem Siedepunkt erhitzt wurde.

Während des ganzen ersten Tages ereignete sich nichts Bemerkenswertes. Obgleich das Quecksilber nicht kochte, befand es sich doch im Zustande fortwährender Verdampfung, es überzog das Innere der Gefäfse mit Tröpfchen, die zuerst sehr fein waren, allmählich gröfser wurden und, wenn sie einen gewissen Umfang erreicht hatten, von selbst auf den Grund des Gefäfses zurückfielen, um sich mit dem übrigen Quecksilber zu vereinigen. Den zweiten Tag sah ich, wie auf der Oberfläche des Quecksilbers kleine rote Flecken auftraten, welche während 4—5 Tagen an Zahl und Gröfse zunahmen. Darauf hörten sie auf zu wachsen und verblieben gänzlich in demselben Zustande. Als ich nach zwölf Tagen erkannte, dafs die Verkalkung[2]) des Quecksilbers gar keinen Fortschritt mehr machte, liefs ich das Feuer ausgehen und die Gefäfse erkalten. Das Volumen der gesamten Luft, welche sich in dem Kolben und unter der Glocke befand, betrug auf einen Druck von 28 Zoll und 10° Temperatur reduziert vor dem Versuche etwa fünfzig Kubikzoll. Nach Beendigung desselben waren unter den gleichen Temperatur- und Druckverhältnissen nur noch 42—43 Kubikzoll vorhanden. Es hatte demnach eine Verminderung des Volumens um ungefähr $1/6$ stattgefunden. Ich sammelte darauf die rote Masse, welche sich gebildet hatte, sorgfältig und befreite sie so viel wie möglich vom Quecksilber. Ihr Gewicht betrug 45 Gran[3]).

Die Luft, welche nach diesem Versuch zurückblieb und durch die Verkalkung des Quecksilbers auf $5/6$ ihres ursprünglichen

---

1) 1 Unze = 29,232 g.

2) Die Oxydationsprodukte der Metalle wurden zur Zeit Lavoisiers als Metallkalke, ihre Entstehung als Verkalkung bezeichnet.

3) Das Medizinalpfund betrug 12 Unzen; jede Unze war gleich 480 Gran (1 Gran etwa = 0,06 g).

Volumens vermindert war, erwies sich weder zur Atmung, noch zur Verbrennung mehr geeignet. Tiere, welche man hineinbrachte, starben nach wenigen Augenblicken, und ein Licht erlosch darin sofort, als wenn man es in Wasser getaucht hätte.

Darauf brachte ich die 45 Gran der roten Substanz, welche sich während des Versuches gebildet hatten, in eine sehr kleine Glasretorte. Diese setzte ich mit einem zum Auffangen etwaiger flüssiger und gasförmiger Produkte geeigneten Apparat in Verbindung.

Nachdem ich Feuer in dem Ofen angemacht hatte, beobachtete ich, dafs in dem Mafse, wie die rote Materie erhitzt wurde, ihre Farbe ins Dunkle überging. Als dann die Retorte sich dem Glühen näherte, begann der rote Körper an Umfang zu verlieren und in wenigen Minuten war er ganz verschwunden.

Gleichzeitig hatte sich in dem kleinen Recipienten 41½ Gran flüssiges Quecksilber verdichtet, und unter der Glocke waren 7—8 Kubikzoll eines Gases aufgetreten, das viel besser als die atmosphärische Luft die Verbrennung und Atmung zu unterhalten imstande war. Nachdem ich einen Teil dieses Gases in eine gläserne Röhre von einem Zoll Durchmesser gefüllt und eine Kerze hineingetaucht hatte, verbreitete sie darin ein blendendes Licht; die Kohle, anstatt ruhig zu glimmen, wie sie es in gewöhnlicher Luft thut, brannte darin mit solch lebhaftem Licht, dafs die Augen es kaum ertragen konnten. Dieses Gas, welches Priestley, Scheele und ich fast gleichzeitig entdeckten, hat der erste dephlogistisierte Luft, der zweite Feuerluft genannt; ich will ihm den Namen Sauerstoff geben, weil es eine seiner wichtigsten Eigenschaften ist, Säuren zu bilden, indem es sich mit den meisten Substanzen vereinigt. Beim Nachdenken über die Umstände dieses Versuches erkennt man, dafs das Quecksilber, indem es sich verkalkt, den respirablen Teil der Luft aufnimmt, und dafs der Teil der Luft, welcher übrig bleibt, unfähig ist, die Verbrennung und Atmung zu unterhalten. Die atmosphärische Luft ist also aus zwei Gasen von verschiedener, man möchte fast sagen entgegengesetzter, Natur zusammengesetzt.

Eine Probe auf diese wichtige Wahrheit besteht darin, dafs, wenn man die beiden Gase wieder vereinigt, nämlich 42 Kubikzoll des Stickgases und 8 Kubikzoll Sauerstoff, man ein Gas erhält, das in jeder Hinsicht mit der atmosphärischen Luft übereinstimmt und in demselben Mafse wie diese geeignet ist, die Verbrennung, Atmung und Verkalkung der Metalle zu unterhalten.

## Über die Verbindung des Sauerstoffs mit Schwefel, Phosphor und Kohle, sowie die Bildung der Säuren überhaupt[1]).

Ein Grundsatz, den man bei der Anstellung von Versuchen nie aus den Augen verlieren darf, ist der, sie so einfach wie möglich zu gestalten und alle Umstände auszuscheiden, welche den Verlauf komplizieren können. Wir werden daher in den Experimenten, welche den Gegenstand dieses Abschnittes bilden, nicht mit atmosphärischer Luft operieren, die ja keine einfache Substanz ist. Es ist zwar wahr, dafs das Stickgas, welches einen Teil der Mischung bildet, aus der sie besteht, sich bei der Verkalkung und Verbrennung vollständig passiv zu verhalten scheint. Da es aber diese Prozesse verlangsamt und es nicht unmöglich ist, dafs es die Resultate derselben unter gewissen Umständen beeinflufst, scheint es mir nötig, diese Ursache der Unsicherheit auszuschliefsen.

Ich werde daher in den Experimenten, über welche ich berichten will, den Verlauf der Verbrennungen so schildern, wie sie in reinem Sauerstoff stattfinden.

Ich nahm eine Krystallglocke (A Fig. 26) von 5--6 Pinten[2]) Inhalt und füllte sie über Wasser mit Sauerstoff; darauf brachte ich sie in die Quecksilberwanne, trocknete die Oberfläche des Quecksilbers und brachte $61^1/_4$ Gran Phosphor hinein, die ich auf zwei Porzellanschälchen verteilt hatte. Um jede der beiden Portionen für sich anzünden zu können, ohne dafs die Entzündung sich der anderen mitteilte, bedeckte ich die eine mit einer kleinen Glasplatte.

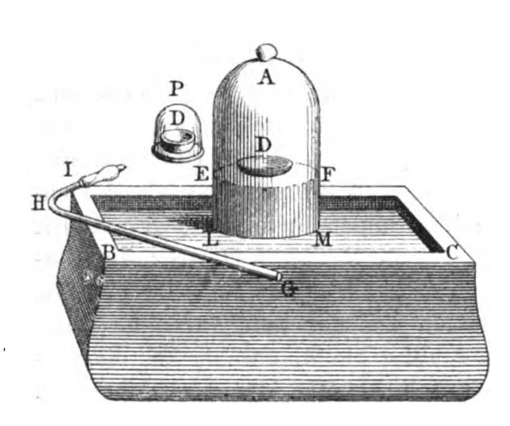



Fig. 26 (Lavoisier, Oeuvres. Tome I. Pl. IV, Fig. 3).

Nachdem alles so vorbereitet war, hob ich das Quecksilber in der Glocke auf die Höhe EF, indem ich einen Glasheber GHI in die Glocke einführte und sog. Darauf entzündete ich mit einem gebogenen und im Feuer zur

1) Traité élémentaire de chimie, 5. Kapitel.

2) Die Pinte ist ein altfranzösisches Hohlmafs von 0,931 Litern Inhalt.

Rotglut erhitzten Eisen den Phosphor nacheinander in den beiden Schalen.

Die Verbrennung vollzog sich mit grofser Schnelligkeit und lebhafter Flamme unter bedeutender Entwickelung von Wärme und Licht. Im ersten Augenblicke fand infolge der Erwärmung eine beträchtliche Ausdehnung des Sauerstoffs statt; bald aber stieg das Quecksilber über sein früheres Niveau hinaus, und es trat eine beträchtliche Abnahme ein. Gleichzeitig bedeckte sich das ganze Innere der Glocke mit weifsen, leichten Flocken, welche nichts anderes als feste Phosphorsäure waren[1]).

Die Menge des Sauerstoffs betrug unter Berücksichtigung aller Korrekturen im Beginn des Versuches 162 Kubikzoll; am Ende desselben waren nur noch 23¹/₄ Kubikzoll vorhanden; die absorbierte Menge war daher 138³/₄ Kubikzoll oder 69,375 Gran. Der Phosphor war nicht gänzlich verbrannt, es verblieben in den Schälchen einige Stücke, welche gewaschen wurden, um sie von der Säure zu trennen, und getrocknet ein Gewicht von etwa 16¹/₄ Gran ergaben.

Die Menge des verbrannten Phosphors ergiebt sich demnach gleich 45 Gran. Bei diesem Versuch hatten sich also 45 Gran Phosphor mit 69,375 Gran Sauerstoff verbunden. Da nichts Wägbares durch das Glas entweichen kann, so mufs man schliefsen, dafs das Gewicht der Substanz, welche bei dieser Verbrennung entstand und sich in weifsen Flocken absetzte, gleich der Summe der Gewichte des Sauerstoffs und des Phosphors sein mufs, also gleich 114,375 Gran.

Die Verbrennung des Phosphors geht in der atmosphärischen Luft ebenfalls von statten. Nur zeigen sich dabei zwei Unterschiede:

1. Die Verbrennung ist viel weniger lebhaft, weil sie in Anbetracht der grofsen Menge Stickstoff, welche dem Sauerstoff beigemengt ist, verlangsamt wird.

2. Es wird nur der fünfte Teil der Luft absorbiert, weil die Verbrennung einzig auf Kosten des Sauerstoffs geschieht.

Der Phosphor verwandelt sich infolge seiner Verbrennung, mag sie in gewöhnlicher Luft oder in Sauerstoff stattfinden, wie erwähnt, in eine weifse, flockige Substanz und erhält ganz neue Eigenschaften. Er wird nicht nur löslich in Wasser, während er vorher darin unlöslich war, sondern er zieht auch die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit erstaunlich schnell an und wird zu einer

---

[1]) Wir würden heute für feste Phosphorsäure Phosphorsäureanhydrid sagen: $2P + 5O = P_2O_5$.

Flüssigkeit von viel gröfserem spezifischen Gewicht als Wasser. Vor seiner Verbrennung ist der Phosphor fast geschmacklos; durch seine Vereinigung mit Sauerstoff nimmt er einen stark sauren Geschmack an, geht endlich aus der Klasse der brennbaren Substanzen in diejenige der unverbrennbaren über und wird das, was man eine Säure nennt.

Diese Umwandlung einer brennbaren Substanz in eine Säure durch Addition von Sauerstoff ist, wie wir bald sehen werden, eine Eigentümlichkeit, die einer grofsen Zahl von Stoffen gemeinsam ist. Nun darf man, wenn man logisch verfährt, es nicht unterlassen, alle Vorgänge, welche analoge Resultate geben, unter einem gemeinsamen Namen zusammenzufassen.

Es ist dies das einzige Mittel, das Studium der Wissenschaften zu vereinfachen, und es würde unmöglich sein, alle Einzelheiten derselben festzuhalten, wenn man es sich nicht angelegen sein liefse, dieselben zu klassifizieren. Wir werden daher die Umwandlung des Phosphors in eine Säure und überhaupt die Verbindung irgend eines brennbaren Körpers mit Sauerstoff als Oxydation bezeichnen.

---

# 31. Die Erfindung des Eiskalorimeters und die Bestimmung von spezifischen Wärmen und Verbrennungswärmen mittelst desselben. 1780.

## Abhandlung über die Wärme von Lavoisier und Laplace[1]).

*Biographische Bemerkungen über Laplace und Lavoisier Siehe* ***24*** *und* ***30***.

### Auseinandersetzung eines neuen Mittels, die Wärme zu messen.

Was auch die Ursache sein mag, welche die Empfindung der Wärme hervorbringt, sie ist der Zunahme und der Verminderung

1) Die Abhandlungen von Lavoisier und Laplace über die Wärme wurden in den Mémoires de l'Académie für das Jahr 1780, S. 355 ff. veröffentlicht und im 2. Bande der gesammelten Werke Lavoisiers wieder abgedruckt. Die nachfolgenden Zeilen bilden einen das Wichtigste wiedergebenden Auszug derselben unter Benutzung des 40. Bandes der Ostwaldschen Sammlung: Zwei Abhandlungen über die Wärme von A. L. Lavoisier und P. S. Laplace, herausgegeben von J. Rosenthal. Leipzig, Verlag von Wilh. Engelmann 1892.



fähig; unter diesem Gesichtspunkte kann sie der Rechnung unterworfen werden. Es scheint nicht, dafs die Alten den Gedanken gehabt haben, ihre relativen Werte zu messen; erst im vergangenen Jahrhundert hat man Mittel ersonnen, dahin zu gelangen. Ausgehend von der allgemeinen Beobachtung, dafs eine gröfsere oder geringere Wärme merklich das Volumen der Körper verändert, insbesondere das der Flüssigkeiten, hat man geeignete Instrumente konstruiert, um diese Änderung des Volumens zu bestimmen. Die Physiker unseres Jahrhunderts haben diese Instrumente vervollkommnet, teils indem sie mit Genauigkeit die festen Punkte der Wärme bestimmt haben, als da sind der Eispunkt und der des siedenden Wassers bei einem gegebenen Atmosphärendruck [1]), teils indem sie diejenige Flüssigkeit suchten, deren Volumänderungen am meisten proportional den Veränderungen der Wärme sind, so dafs jetzt in Bezug auf die Messung nichts mehr zu wünschen übrig bleibt, als ein sicheres Mittel, die äufsersten Grade der Wärme zu bestimmen.

Aber die Kenntnis der Gesetze, denen die Wärme folgt, wenn sie sich in den Körpern ausbreitet, ist weit entfernt von dem Zustande der Vollkommenheit, welcher nötig ist, um die Probleme, die sich auf die Mitteilung und auf die Wirkung der Wärme in einem System von ungleich erwärmten Körpern beziehen, der Rechnung zu unterwerfen. Man hat schon eine grofse Zahl von interessanten Versuchen gemacht, aus denen hervorgeht, dafs bei dem Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand und von letzterem in den des Dampfes sehr viel Wärme absorbiert wird. Man hat aufserdem beobachtet, dafs bei gleicher Temperatur verschiedene Körper von gleichem Volumen nicht eine gleiche Wärmemenge einschliefsen. Man hat sogar das Verhältnis der Wärme-Kapacitäten verschiedener Substanzen bestimmt, und, da auf der Oberfläche der Erde selbst die kältesten Körper nicht ganz frei von Wärme sind, so hat man gesucht, die Beziehungen der absoluten Wärme zu den Veränderungen, welche das Thermometer anzeigt, kennen zu lernen.

Dennoch sind die Physiker nicht einer Meinung über die Natur der Wärme. Mehrere unter ihnen betrachten sie als eine Flüssigkeit, welche in der ganzen Natur verbreitet ist, und welche die Körper mehr oder weniger durchdringt, je nach dem Grade der Temperatur und der den Körpern eigenen Fähigkeit, sie zurückzuhalten.

---

[1]) **Siehe die Abhandlung von Celsius unter Nr. 20 dieses Buches.**



Die Wärme kann sich mit den Körpern verbinden, und in diesem Zustande hört sie auf, auf das Thermometer zu wirken und sich von einem Körper zum anderen fortzupflanzen. Nur im Zustande der Freiheit, welcher ihr gestattet, sich in den Körpern ins Gleichgewicht zu setzen, bildet sie das, was wir freie Wärme nennen.

Andere Physiker glauben, dafs die Wärme nichts ist als das Ergebnis unmerklicher Bewegungen der Moleküle der Materie. Man weifs, dafs die Körper, selbst die dichtesten, erfüllt sind von einer grofsen Zahl von Poren oder kleineren Lücken, deren Volumen beträchtlich das der Materie, welche diese Lücken einschliefst, übertreffen kann. Diese leeren Räume lassen den kleinsten Teilchen die Freiheit, nach allen Richtungen zu schwingen, und es liegt nahe zu denken, dafs diese Teilchen in einer fortwährenden Bewegung sich befinden, welche, wenn sie bis zu einem gewissen Grade anwächst, sogar die kleinen Teilchen von einander trennen und so die Körper zersetzen kann. Diese innere Bewegung ist es, welche nach Ansicht der Physiker, von denen wir sprechen, die Wärme ausmacht[1]).

Wir wollen nicht zwischen den beiden vorhergehenden Hypothesen entscheiden. Mehrere Erscheinungen sind der letzteren günstig, so z. B. die, dafs Wärme durch die Reibung zweier fester Körper entsteht. Aber es giebt andere, welche sich leichter nach der ersten Hypothese erklären lassen. Nun bleibt sowohl nach der einen wie nach der anderen die freie Wärmemenge stets dieselbe, wenn eine einfache Mischung von Körpern stattfindet. Dies ist klar, wenn die Wärme eine Flüssigkeit ist, die sich ins Gleichgewicht zu setzen strebt, und ebenso, wenn sie nichts ist als die lebendige Kraft der innerlichen Bewegungen der Materie. Die Erhaltung der freien Wärme bei der einfachen Mischung der Körper ist daher unabhängig von jeder Hypothese über die Natur der Wärme; sie ist allgemein angenommen von den Physikern, und wir werden sie in den folgenden Untersuchungen gleichfalls annehmen.

Wenn bei einer Verbindung oder irgend einer Zustandsänderung eine Verminderung der freien Wärme stattfindet, so wird diese Wärme ganz wieder erscheinen, sobald die Körper in ihren früheren

---

[1]) Letztere Ansicht hat erst seit 1840 besonders durch die Bemühungen von Robert Mayer, Helmholtz, Joule und Clausius feste Gestalt angenommen und unter dem Namen der mechanischen Wärmetheorie allgemein Eingang in die Wissenschaft gefunden. Siehe Bd. II.

Zustand zurückkehren; und andererseits, wenn bei einer Verbindung oder einer Zustandsänderung eine Zunahme der freien Wärme stattfindet, so wird diese neue Wärme bei der Rückkehr der Substanzen in ihren ursprünglichen Zustand verschwinden. So bewirkt die Umwandlung des Eises in Wasser und des Wassers in Dampf ein sehr erhebliches Verschwinden von Wärme, die wieder auftritt bei der Verwandlung von Wasser in Eis oder bei der Kondensation des Dampfes zn Wasser.

Wenn man zwei Körper von gleicher Masse und derselben Temperatur voraussetzt, so kann die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um ihre Temperatur um 1° zu erhöhen, dennoch nicht für beide Körper dieselbe sein; und wenn man als Einheit diejenige nimmt, welche die Temperatur eines Pfundes gewöhnlichen Wassers um 1° erhöht, so versteht man leicht, dafs alle anderen Wärmemengen, die sich auf verschiedene Körper beziehen, in Teilen dieser Einheit ausgedrückt werden können. Wir werden in der Folge unter dem Ausdruck spezifische Wärme dieses Verhältnis der Wärmemengen verstehen[1]. Dieses Verhältnis kann mit den verschiedenen Temperaturgraden wechseln. Wenn z. B. die Wärmemengen, die nötig sind, um ein Pfund Eisen und ein Pfund Quecksilber von 0° auf 1° zu bringen, sich verhalten wie 3 : 1, so können diejenigen, welche man anwenden mufs, um eben dieselben Stoffe von 200° auf 201° zu bringen, ein gröfseres oder geringeres Verhältnis haben. Aber man kann voraussetzen, dafs dieses Verhältnis nahezu konstant ist von 0°—80°; wenigstens hat uns der Versuch keine merkliche Verschiedenheit erkennen lassen. Innerhalb dieses Intervalles werden wir die spezifischen Wärmen der verschiedenen Substanzen bestimmen.

Wenn man ein Stück Eis, das auf irgend einen Grad abgekühlt ist, in eine Atmosphäre bringt, deren Temperatur höher als der Nullpunkt des Thermometers ist, so werden alle Teile der Eismasse den Einflufs der Wärme erfahren, bis ihre Temperatur auf Null gelangt ist. In diesem letzteren Zustande wird die Wärme der Atmosphäre an der Oberfläche des Eises aufgehalten werden, ohne in das Innere eindringen zu können. Sie wird ausschliefslich verwendet werden, eine erste Schicht des Eises zu schmelzen, welche diese Wärme absorbieren wird, indem sie sich in Wasser

[1] Heute gilt unter dem Namen Kalorie diejenige Wärmemenge als Einheit, welche die Temperatur eines Kilogramm Wasser von 0° auf 1° erhöht. Die spezifische Wärme eines Körpers ist somit die Anzahl Kalorien, welche erforderlich ist, um ein Kilogramm desselben von 0° auf 1° zu erwärmen.



verwandelt. Ein Thermometer, das man in diese Schicht eintaucht, wird sich auf demselben Grade erhalten, und die einzige sichtbare Wirkung der Wärme wird in der Verwandlung des Eises in Flüssigkeit bestehen. Wenn dann das Eis eine neue Wärmemenge empfängt, wird eine neue Schicht schmelzen und so alle Wärme, die ihm mitgeteilt ist, absorbieren. Infolge dieser fortwährenden Schmelzung des Eises werden alle inneren Punkte der Masse nach und nach an die Oberfläche kommen und nur in dieser Lage werden sie von neuem der Einwirkung der Wärme der umgebenden Körper ausgesetzt sein.

Stelle man sich nun vor, in einer Atmosphäre, deren Temperatur über 0° ist, befinde sich eine Hohlkugel aus Eis von der Temperatur 0°, und im Innern derselben ein Körper, der auf irgend einen Grad erhitzt ist. Aus dem, was wir gesagt haben, folgt, dafs die äufsere Wärme nicht in die Höhlung der Kugel eindringen wird. Die Wärme des Körpers aber kann sich nicht nach aufsen zerstreuen, sondern wird auf die innere Fläche der Höhlung beschränkt bleiben, von der sie immer neue Lagen abschmelzen wird, bis die Temperatur dieses Körpers auf 0° heruntergegangen ist. Man hat nicht zu befürchten, dafs die Schmelzung des inneren Eises durch andere Ursachen als durch die vom Körper verlorene Wärme bedingt sei, da dieses Eis vor der Einwirkung jeder anderen Wärme durch die Eisschicht bewahrt wird, welche es von der Atmosphäre trennt. Aus demselben Grunde kann man versichert sein, dafs alle Wärme des Körpers, indem sie verloren geht, durch das innere Eis festgehalten und einzig und allein verwendet wird, dasselbe zu schmelzen. Sammelt man also das Wasser in der Kugel, wenn die Temperatur des Körpers auf 0° gesunken ist, so wird das Gewicht dieses Wassers genau der Wärme proportional sein, welche der Körper verloren hat, indem er von seiner ursprünglichen Temperatur zu der des schmelzendes Eises abgekühlt wurde. Denn es ist klar, dafs eine doppelt so grofse Wärmemenge doppelt so viel Eis schmelzen mufs, derart dafs die Menge des geschmolzenen Eises ein sehr genaues Mafs der Wärme ist, welche diese Wirkung hervorgebracht hat.

Will man nun die spezifische Wärme eines festen Körpers kennen lernen, so wird man seine Temperatur um eine gewisse Anzahl von Graden erhöhen, ihn dann in das Innere der Kugel, von der wir oben gesprochen haben, bringen und ihn darin lassen, bis seine Temperatur auf 0° heruntergegangen ist. Dann wird man das Wasser sammeln, welches sich infolge der Abkühlung des

Körpers gebildet hat. Diese Wassermenge, dividiert durch das Produkt der Masse des Körpers und der Anzahl von Graden, welche seine ursprüngliche Temperatur angiebt, wird seiner spezifischen Wärme proportional sein [1]).

Will man die Wärme kennen lernen, welche bei der Verbindung mehrerer Substanzen erzeugt wird, so wird man dieselben sämtlich ebenso wie die Gefäfse, in welchen sie eingeschlossen sind, auf 0° abkühlen, dann ihre Mischung in das Innere der Eiskugel bringen und sie darin lassen, bis ihre Temperatur wieder 0° ist. Die Wassermenge, welche bei diesem Versuche gesammelt wird, wird ein Mafs für die entwickelte Wärme sein.

Die Bestimmung der Wärme, welche durch die Verbrennung und Atmung erzeugt wird, bietet nicht mehr Schwierigkeiten. Man verbrennt die Körper im Innern der Kugel und läfst die Tiere innerhalb derselben atmen. Da aber die Erneuerung der Luft bei diesen Operationen unumgänglich nötig ist, wird es erforderlich sein, eine Verbindung zwischen dem Innern der Kugel und der umgebenden Atmosphäre herzustellen. Damit ferner die Einführung der neuen Luft keinen merklichen Fehler in den Resultaten hervorruft, mufs man diese Versuche bei einer Temperatur machen, die nur wenig von 0° verschieden ist, oder mindestens die Luft, welche man einführt, auf diese Temperatur abkühlen.

Wir haben immer von einer Eiskugel gesprochen, nur um die Methode, welcher wir uns bedient haben, besser verständlich zu machen. Es würde sehr schwer sein, sich derartige Kugeln zu verschaffen. Wir haben sie daher durch folgenden Apparat

1) Der Gedanke diese Methode des Eisschmelzens zur Bestimmung der spezifischen Wärme zu benutzen rührt von Black (1728—1799) her. Derselbe brachte die auf eine bestimmte Temperatur erwärmte Substanz in die Höhlung eines Eisblocks, verschlofs dieselbe mit einem Deckel und wog das entstandene Schmelzwasser.

Um 1 kg Eis von 0° in 1 kg Wasser von 0° zu verwandeln, sind 80 Wärmeeinheiten erforderlich. Zur Erläuterung diene folgendes Beispiel: Die Substanz, deren spezifische Wärme bestimmt werden soll, wiege 2 kg und sei auf 10° erhitzt, die Menge des Schmelzwassers betrage $\frac{1}{10}$ kg. Daraus folgt, dafs die 2 kg bei ihrer Abkühlung von 10° auf 0° $\frac{1}{10} \cdot 80 = 8$ Wärmeeinheiten verloren. Dieselbe Wärmemenge mufs ihnen zugeführt werden, um sie von 0° auf 10° zu erhitzen. Um demnach 1 kg von 0° auf 10° zu erwärmen, würden 4 Wärmeeinheiten $\left(\frac{\frac{1}{10} \cdot 80}{2}\right)$, von 0° auf 1° dagegen nur 0,4 Wärmeeinheiten $\left(\frac{\frac{1}{10} \cdot 80}{2 \cdot 10}\right)$ erforderlich sein.

ersetzt: Der vertikale Schnitt ist in Figur 27 dargestellt und zeigt das Innere desselben. Der Hohlraum des Apparats ist in drei Teile eingeteilt; um uns verständlicher zu machen, wollen wir dieselben durch die Namen innere Höhlung, mittlere Höhlung, äufsere Höhlung bezeichnen. Die innere Höhlung ffff wird von einem Eisendrahtgeflecht gebildet, das durch einige Stäbe desselben Metalls gestützt wird. In diese Höhlung bringt man die Körper, welche dem Versuche unterworfen werden sollen. Die obere Öffnung kann vermittelst eines Deckels geschlossen werden, der in Fig. 28 besonders dargestellt ist. Derselbe ist oben ganz offen; sein Boden wird durch ein Netz von Eisendraht gebildet. Der mittlere Raum bbbb ist bestimmt, das Eis aufzunehmen, welches den inneren Raum umgeben und durch die Wärme der dem Versuche unterworfenen Körper geschmolzen werden soll. Dieses Eis wird getragen und zurückgehalten durch einen Rost m m, unter welchem sich ein Sieb befindet. In dem Mafse, wie das Eis geschmolzen wird, läuft das Wasser durch den Rost und das Sieb, gelangt sodann in den Kegel ccd und die Röhre x y; endlich sammelt es sich in dem Gefäfse P, das unter den Apparat gestellt wird; k ist ein Hahn, mit Hilfe dessen man nach Belieben den Abflufs des inneren Wassers verhindern kann. Die äufsere Höhlung aaaaa ist bestimmt, dasjenige Eis aufzunehmen, welches den Einflufs der von aufsen kommenden Wärme abhalten soll. Das Wasser, welches durch das Schmelzen dieses Eises entsteht, fliefst durch die Röhre S T. Der ganze Apparat wird mit dem Deckel F G (Fig. 29) bedeckt.

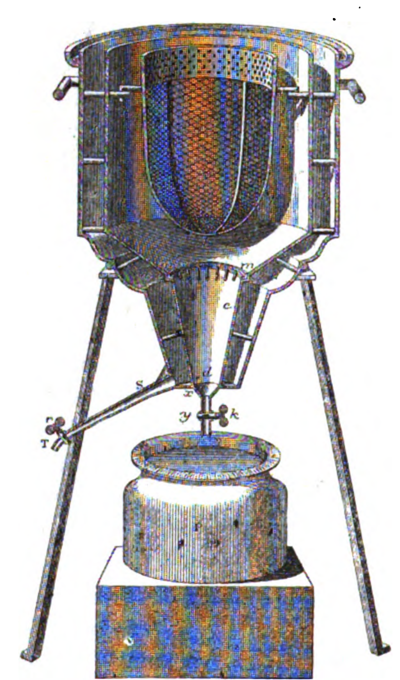


Fig. 27 (Lavoisiers Eiskalorimeter).

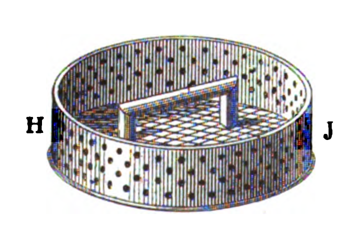


Fig. 28.

Um den Apparat in Gebrauch zu nehmen, füllt man die mittlere Höhlung und den Deckel H J der mittleren Höhlung mit gestofsenem Eis, ebenso die äufsere Höhlung und den Deckel F G des ganzen Apparates. Man läfst darauf das innere Eis abtropfen. (Wir nennen so dasjenige, welches in der mittleren Höhlung und im inneren Deckel eingeschlossen ist, und welches man sorgfältig stofsen und fest in die Maschine eindrücken mufs.) Sobald es genug abgetropft hat, öffnet man den Apparat, um den Körper, mit welchem man experimentieren will, hineinzubringen und schliefst ihn sofort wieder. Man wartet, bis der Körper vollkommen abgekühlt ist und der Apparat gut abgetropft hat. Dann wägt man das aufgesammelte Wasser in dem Gefäfse P; sein Gewicht ist ein genaues Mafs der von dem Körper abgegebenen Wärme. Das innere Eis hält stets eine kleine Menge Wasser zurück, das seiner Oberfläche anhaftet, und man könnte glauben, dafs dieses Wasser einen Einflufs auf das Ergebnis unserer Versuche hätte. Aber man mufs beachten, dafs im Anfange eines jeden Versuches das Eis bereits mit der ganzen Menge Wasser benetzt ist, welche es zurückhalten kann. Wenn also ein Teil des Schmelzwassers am inneren Eise hängen bleibt, so wird ungefähr dieselbe Menge Wasser, die vorher an der Oberfläche des Eises haftete, sich von demselben lösen und in das Gefäfs P fliefsen. Die Oberfläche des inneren Eises ändert sich nämlich aufserordentlich wenig während des Versuches.

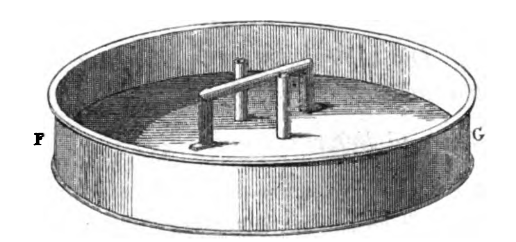


Fig. 29.

*Zum Schlusse seien einige der von Lavoisier und Laplace gefundenen spezifischen Wärmen mitgeteilt unter Angabe der heute als richtig geltenden Werte in Klammern:*

| | | |
|---|---|---|
| Gewöhnliches Wasser . . . . . . | 1 | (1) |
| Eisenblech . . . . . . . . . . . | 0,109 | (0,113) |
| Quecksilber . . . . . . . . . . | 0,029 | (0,033) |
| Blei . . . . . . . . . . . . . . | 0,028 | (0,031) |
| Schwefel . . . . . . . . . . . | 0,208 | (0,202) |

*Desgleichen seien die Resultate einiger Versuche über die Gröfse der Verbrennungswärme verschiedener Substanzen angegeben:*

Mengen des geschmolzenen Eises durch Verbrennung von

| | | |
|---|---|---|
| 1 Pfund Phosphor | . . . . . . . . . . | 100 Pfund |
| 1 „ Faulbaumkohle | . . . . . . . . | 96 „ |
| 1 „ Olivenöl | . . . . . . . . . . | 148 „ |

*Die Abweichung von späteren Bestimmungen ist hier eine bedeutende, so entwickelt (nach Andrews) 1 kg Phosphor 5747 Kalorien und liefert demnach* $\frac{5747}{80} = 71{,}8$ *kg Wasser, während nach Lavoisier und Laplace 1 kg Phosphor bei seiner Verbrennung 100 kg Schmelzwasser liefern soll.*

# 32. Die Entdeckung der galvanischen Elektricität.

## Galvanis Abhandlung über die Kräfte der Elektricität. 1791[1]).

*Aloisio Galvani wurde am 9. September 1737 in Bologna geboren und hatte seit 1775 die Professur der Anatomie und Gynäkologie daselbst inne. Seine Versuche, welche zur Entdeckung der strömenden Elektricität führten, fallen in die Jahre 1780—1790. Richtig gedeutet wurden sie erst von Alessandro Volta. Galvani starb am 14. Dezember 1798, nachdem er kurz vorher aller seiner Ämter für verlustig erklärt worden war, weil er der cisalpinischen Republik den Eid verweigert hatte.*

Ich sezierte einen Frosch, präparierte ihn, wie in Fig. $30_{,2}$ dargestellt ist, und legte ihn auf einen Tisch, auf dem eine Elektrisiermaschine stand (Fig. $30_{,1}$). Als nun der eine von den Leuten, die mir zur Hand gingen, mit der Spitze eines Skalpellmessers die Schenkelnerven D D des Frosches zufällig ganz leicht berührte, schienen sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derartig zusammenzuziehen, als wären sie von heftigen Krämpfen

[1]) Nachstehend sind einige wichtige Abschnitte dieser epochemachenden Schrift nach der Ausgabe von A. J. von Oettingen wiedergegeben (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 52. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann). Der Titel des Originals lautet: „De viribus electricitatis in motu musculari commentatio“.

befallen. Der andere aber, welcher uns bei Elektricitätsversuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, daſs sich dies ereignet hätte, während dem Konduktor der Maschine ein Funke entlockt wurde. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich,

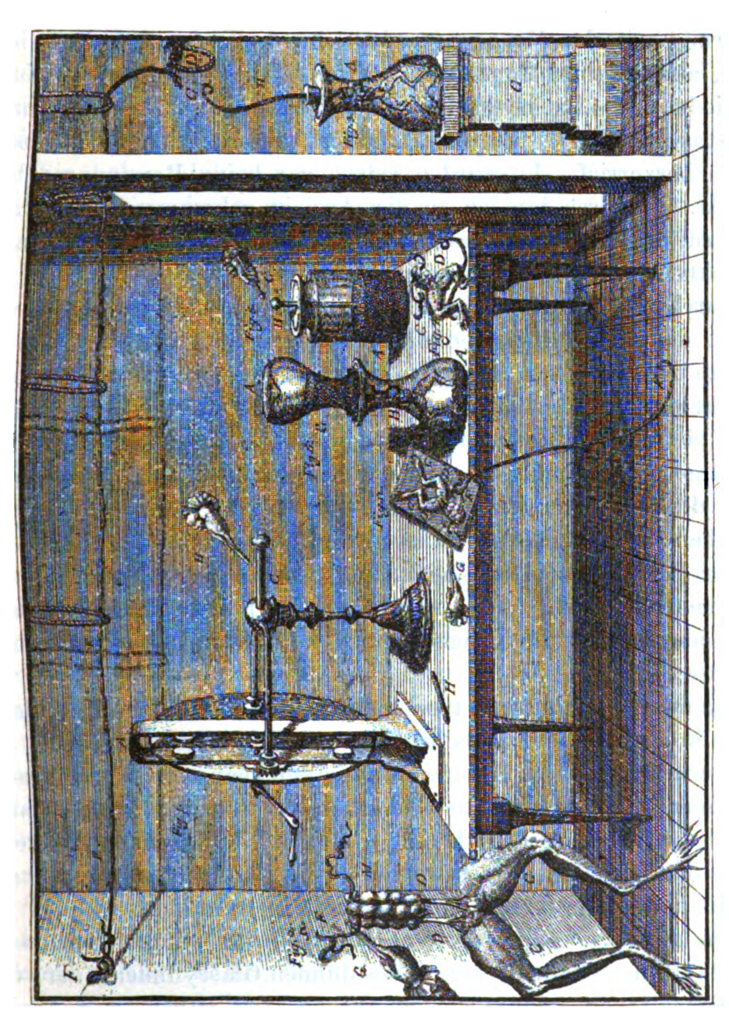


Fig. 30 (Aus Galvanis Abhandlung über die Kräfte der Elektricität).

der ich etwas gänzlich Anderes vor hatte und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Hierauf wurde ich von einem unglaublichen Eifer entflammt, dasselbe zu erproben, und das, was darunter verborgen wäre, ans Licht zu ziehen. Ich berührte daher selbst mit der Messerspitze den einen oder den anderen

Schenkelnerven, und in dem Momente entlockte einer von den Anwesenden einen Funken. Die Erscheinung blieb stets dieselbe. Unfehlbar traten heftige Kontraktionen in demselben Momente ein, in dem der Funken übersprang.

In dem Bedenken aber, dafs diese Bewegungen mehr von der Berührung mit der Messerspitze, welche vielleicht den Reiz bewirkte, als von dem Funken herrührten, habe ich dieselben Nerven wieder auf dieselbe Weise mit der Messerspitze berührt und zwar stärker, doch ohne dafs während dieser Zeit jemand einen Funken hervorrief. Es wurden jedoch gar keine Bewegungen bemerkbar. Dadurch bin ich zu der Ansicht gekommen, es sei zur Hervorrufung der Erscheinung die Berührung eines Körpers und der elektrische Funken zusammen erforderlich.

Durch die Neuigkeit der Erscheinung angeregt, schickten wir uns an, die Sache experimentell zu verfolgen, doch unter Anwendung ein und desselben Skalpells, damit wir womöglich die Ursache der unerwarteten Verschiedenheit entdeckten. Diese neue Arbeit verlief nicht resultatlos, denn wir entdeckten, dafs die ganze Erscheinung den verschiedenen Teilen des Skalpells, an denen man es mit den Fingern hielt, zuzuschreiben wäre. Da das Skalpell einen beinernen Griff hatte, so traten, wenn man diesen Griff mit der Hand umschlofs, beim Überspringen des Funkens keine Zuckungen ein, wohl aber, wenn man die Finger an die Metallklinge oder an die die Klinge des Skalpells festhaltenden eisernen Nägel legte.

Da nun einigermafsen trockene Knochen die Elektricität nicht leiten, wohl aber die Metallklinge und die eisernen Nägel, so kamen wir auf die Vermutung, dafs, wenn man mit den Fingern den beinernen Griff hielt, dem elektrischen Fluidum, welches auf irgend eine Weise in dem Frosch thätig wird, jeder Zutritt verwehrt, dass er ihm aber gestattet würde, wenn man die Klinge oder die mit dieser kommunizierenden Nägel anfafste.

Um nun die Sache aufser allen Zweifel zu setzen, haben wir uns anstatt des Skalpells bald eines dünnen Glascylinders, der von aller Feuchtigkeit und jedem Stäubchen rein poliert war, bald eines Eisencylinders bedient. Mit dem gläsernen berührten wir nicht nur die Schenkelnerven, sondern rieben sie tüchtig, während der Funken hervorgelockt wurde. Aber vergeblich; trotz aller Mühe trat nie die Erscheinung ein, auch wenn zahllose stärkere Funken dem Konduktor der Maschine, selbst in geringer Entfernung von dem Tier, entzogen wurden. Sie trat aber wohl ein, wenn

man mit dem Eisencylinder eben dieselben Nerven nur leicht berührte und nur kleine Funken überspringen liefs.

Damit stand uns die Wahrheit unserer Vermutung als klar erwiesen fest, dafs nämlich die Berührung eines leitenden Körpers mit den Nerven erforderlich sei, damit die Erscheinung eintrete.

Nun schien uns nichts wichtiger als zu erörtern, ob die sogenannte atmosphärische Elektricität dieselben Erscheinungen geben würde oder nicht, ob nämlich bei Anwendung derselben Kunstgriffe die Blitze auch Muskelkontraktionen erregen würden.

Wir haben daher einen langen, passenden Konduktor, und zwar einen Eisendraht, an einem höher gelegenen Orte des Hauses ausgespannt und isoliert, und daran, als ein Gewitter am Himmel aufgezogen war, präparierte Frösche oder präparierte Schenkel von Warmblütern mit ihren Nerven aufgehängt. Auch an ihre Füfse haben wir einen Konduktor, nämlich einen anderen Eisendraht geheftet, und zwar einen sehr langen, um ihn bis in das Wasser eines Brunnens tauchen zu lassen. Die Sache verlief ganz nach Wunsch, wie bei der künstlichen Elektrizität. So oft nämlich Blitze hervorbrachen, gerieten sämtliche Muskeln in demselben Moment in wiederholte heftige Zuckungen, so dafs immer, wie der Schein der Blitze, auch die Muskelbewegungen und Kontraktionen den Donnerschlägen vorangingen und diese gleichsam ankündigten.

Da ich zuweilen bemerkt hatte, dafs präparirte Frösche, welche an einem Eisengitter, mit Messinghaken im Rückenmark versehen, aufgehängt waren, in die gewöhnlichen Zuckungen verfielen, und zwar nicht nur beim Blitzen, sondern auch bei heiterem Himmel, so meinte ich die Entstehung dieser Kontraktionen sei von den Veränderungen, welche in der atmosphärischen Elektricität vor sich gehen, herzuleiten. Deshalb beobachtete ich zu verschiedenen Stunden und zwar viele Tage lang dazu passend hergerichtete Tiere, aber nur selten trat eine Bewegung in den Muskeln ein. Schliesslich durch das vergebliche Warten ermüdet, habe ich die Haken, welche in das Rückenmark geheftet waren, gegen das eiserne Gitter gedrückt, um zu sehen, ob durch einen solchen Kunstgriff die Kontraktionen der Muskeln erregt würden. Dabei beobachtete ich ziemlich häufig Kontraktionen. Es fehlte nicht viel und ich hätte dieselben der atmosphärischen Elektricität zugeschrieben.

Als ich aber das Tier in das geschlossene Zimmer übergeführt, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen

letztere den in das Rückenmark gehefteten Haken zu drücken, siehe da, dieselben Kontraktionen, dieselben Bewegungen! Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und Tagen erprobt; und

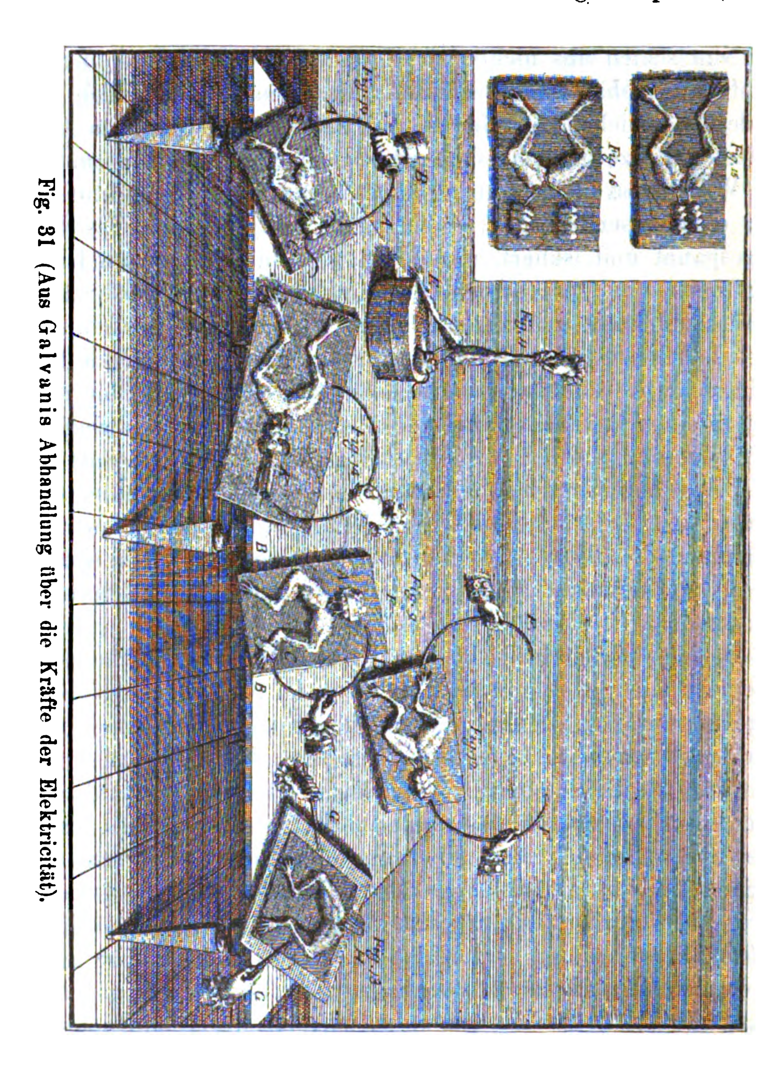


Fig. 31 (Aus Galvanis Abhandlung über die Kräfte der Elektricität).

dasselbe Ergebnis, nur dafs die Kontraktionen bei der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei den einen nämlich heftiger, bei den anderen langsamer. Schliefslich kam uns in den Sinn, auch andere Körper, welche aber wenig oder gar keine Elektricität leiten, nämlich Glas, Gummi, Harz, Stein oder Holz, und

zwar trocken zu dem Experiment zu verwenden; nichts Ähnliches trat ein, es liefsen sich keine Muskelkontraktionen erblicken. Natürlich erregte ein derartiges Resultat bei uns nicht geringe Verwunderung und liefs die Vermutung in uns aufsteigen, dafs dem Tiere selbst Elektricität innewohne.

Um aber die Sache besser klar zu legen, habe ich mit dem gröfsten Erfolge den Frosch auf eine nicht leitende Platte aus Glas oder Harz gelegt und bald einen leitenden, bald einen ganz oder nur zum Teil nicht leitenden Bogen angewendet und mit dessen einem Ende den in das Rückenmark gehefteten Haken und mit dem anderen entweder die Schenkelmuskeln oder die Füfse berührt. Bei diesem Versuche sahen wir unter Anwendung des leitenden Bogens, Fig. $31,_{9}$, Kontraktionen eintreten, bei Anwendung des teils nicht leitenden Bogens, wie in Fig. $31,_{10}$ aber ausbleiben. Der leitende Bogen bestand aus einem Eisendraht, der Haken aus Messing.

Wenn der Frosch, an einem Beine hängend, mit den Fingern gehalten wird, sodafs der in das Rückenmark geheftete Haken eine Silberplatte berührt, das andere Bein aber frei auf der Platte gleiten kann (Fig. $31,_{11}$), so werden, sowie dies Bein die Platte berührt, die Muskeln zusammengezogen, wodurch sich das Bein hebt. Bald aber erschlaffen sie von selbst, und das Bein kommt, auf die Platte zurückgesunken, wieder zur Berührung mit derselben, wird deshalb wieder hochgehoben und fährt so fort sich zu heben und zu senken, sodafs es gewissermafsen einem elektrischen Pendel zu gleichen scheint, zur gröfsten Verwunderung und Freude des Beobachters.

Es ist natürlich nicht schwer einzusehen, wie bequem und leicht das Phänomen mit der Platte wiederholt werden kann, welche gewissermafsen als Bogen dient, der den oben erwähnten Kreislauf ermöglicht, wenn das Bein auf diese Platte niederfällt, für diesen Kreislauf aber nicht mehr vorhanden ist, wenn das Bein sich von der Platte entfernt hat. Dies sind weder zweifelhafte noch dunkle Beweise darüber, dafs die Metallplatte an Stelle des Bogens dient.

Man kann aber kaum sagen, worin die Kraft und Fähigkeit einer solchen Platte zur Erregung derartiger Muskelkontraktionen besteht [1]).

[1]) Galvani erklärte seine Versuche aus einer Art tierischen Elektricität und fand damit zuerst allgemeinen Anklang. Volta (1745—1827) dagegen

# 33. Die Botanik unter dem Einflusse der Metamorphosenlehre.

## Goethes Versuch über die Metamorphose der Pflanzen. 1790[1]).

*Der universale Geist Goethes hat sich stets mit Vorliebe auch den Naturwissenschaften zugewandt und auf diesem Gebiete Anschauungen entwickelt, die zum Teil in der Wissenschaft Geltung gefunden haben. Einen dauernden Einfluſs auf die Botanik z. B. hat Goethes Metamorphosenlehre ausgeübt. Der Ausdruck Metamorphose hat bei Goethe aber eine mehr bildliche Bedeutung; an wirkliche im Laufe der Entwicklung der Pflanzenwelt stattgefundene Umwandlungen wurde dabei wohl noch nicht gedacht. Siehe auch Goethes Gedicht „Die Metamorphose der Pflanzen".*

Ein jeder, der das Wachstum der Pflanzen nur einigermaſsen beobachtet, wird leicht bemerken, daſs gewisse äuſsere Teile derselben sich manchmal verwandeln und in die Gestalt der nächstliegenden Teile bald ganz, bald mehr oder weniger übergehen. So verändert sich z. B. die einfache Blume in eine gefüllte, wenn sich anstatt der Staubgefäſse Blumenblätter entwickeln, die entweder an Gestalt und Farbe vollkommen den übrigen Blättern der Krone gleich sind, oder noch sichtbare Zeichen ihres Ursprungs an sich tragen.

Wenn wir nun bemerken, daſs es auf diese Weise der Pflanze möglich ist, einen Schritt rückwärts zu thun, so werden wir auf den regelmäſsigen Weg der Natur desto aufmerksamer gemacht und lernen die Gesetze der Umwandlung kennen, nach welchen sie einen Teil durch den anderen hervorbringt und die verschiedensten Gestalten durch Modifikation eines einzigen Organs darstellt.

Richten wir unsere Aufmerksamkeit sogleich in dem Augenblicke auf die Pflanze, wo sie sich aus dem Samenkorn entwickelt.

---

schrieb die Elektricitätserregung der Verschiedenheit der angewandten Metalle zu und bewies, daſs man die tierischen Zwischensubstanzen ganz entbehren könne (Voltas Fundamentalversuch der Kontaktelektricität). Im Jahre 1800 wurde Volta durch seine Versuche auf die Erfindung der galvanischen Kette geführt. Näheres siehe im zweiten Band.

1) Nach dem 1831 bei Cotta erschienenen Abdruck des 1790 erschienenen Originals im Auszuge wiedergegeben.

Die ersten Organe ihres oberen Wachstums sind unter dem Namen Kotyledonen bekannt; man hat sie auch Samenlappen genannt. Sie erscheinen oft unförmlich, mit einer rohen Materie ausgestopft und ebenso sehr in die Dicke als in die Breite ausgedehnt. Ihre Gefäfse sind unkenntlich und von der Masse des Ganzen kaum zu unterscheiden; sie haben fast keine Ähnlichkeit mit einem Blatte, und wir können verleitet werden, sie für besondere Organe anzusehen. Mitunter erscheinen sie als wirkliche Blätter, ihre Gefäfse sind der feinsten Ausbildung fähig, ihre Ähnlichkeit mit den folgenden Blättern erlaubt uns nicht, sie für besondere Organe zu halten, wir erkennen sie vielmehr als die ersten Blätter des Stengels.

Die Kotyledonen sind meist gedoppelt, und wir finden hierbei eine Bemerkung zu machen, welche uns in der Folge noch wichtiger erscheinen wird. Es sind nämlich die Blätter des ersten Knotens oft auch dann gepaart, wenn die folgenden Blätter des Stengels abwechselnd stehen; es zeigt sich hier also eine Annäherung und Verbindung der Teile, welche die Natur in der Folge trennt und von einander entfernt. Noch merkwürdiger ist es, wenn die Kotyledonen als viele Blättchen um eine Achse versammelt erscheinen, und der aus ihrer Mitte sich nach und nach entwickelnde Stengel die folgenden Blätter einzeln um sich herum hervorbringt, welcher Fall sehr genau an dem Wachstum der Pinusarten sich bemerken läfst. Hier bildet ein Kranz von Nadeln gleichsam einen Kelch, und wir werden in der Folge bei ähnlichen Erscheinungen uns des gegenwärtigen Falles wieder zu erinnern haben.

Dagegen bemerken wir, dafs selbst die blattähnlichsten Kotyledonen, gegen die folgenden Blätter des Stengels gehalten, immer unausgebildeter sind. Vorzüglich ist ihr Rand höchst einfach und an demselben sind wenig Spuren von Einschnitten zu sehen.

Einige oder mehrere der nun folgenden Blätter sind oft schon in dem Samen gegenwärtig und liegen zwischen den Kotyledonen eingeschlossen; sie sind in ihrem zusammengefalteten Zustande unter dem Namen des Federchens bekannt. Ihre Gestalt verhält sich gegen die Gestalt der Kotyledonen und der folgenden Blätter an verschiedenen Pflanzen verschieden. Doch weichen sie meist von den Kotyledonen schon darin ab, dafs sie flach, zart und überhaupt als wahre Blätter gebildet sind, sich völlig grün färben, auf einem sichtbaren Knoten ruhen und ihre Verwandtschaft mit den folgenden Stengelblättern nicht mehr verläugnen können,

welchen sie aber gewöhnlich noch darin nachstehen, dafs ihr Rand nicht vollkommen ausgebildet ist.

Doch breitet sich die fernere Ausbildung unaufhaltsam von Knoten zu Knoten durch das Blatt aus, indem sich die mittlere Rippe desselben verlängert und die von ihr entspringenden Nebenrippen sich mehr oder weniger nach den Seiten ausstrecken. Die Blätter erscheinen nunmehr eingekerbt, tief eingeschnitten, aus mehreren Blättchen zusammengesetzt, in welchem letzten Falle sie uns vollkommen kleine Zweige vorbilden. Von einer solchen successiven Vermannigfaltung der einfachsten Blattgestalt giebt uns die Dattelpalme ein auffallendes Beispiel[1]. In einer Folge von mehreren Blättern schiebt sich eine Mittelrippe vor, das fächerartige einfache Blatt wird zerrissen, abgeteilt, und ein höchst zusammengesetztes, mit einem Zweige wetteiferndes Blatt wird entwickelt.

Den Übergang zum Blütenstande sehen wir schneller oder langsamer geschehen. Im letzteren Falle bemerken wir gewöhnlich, dafs die Stengelblätter ihre mannigfaltigen äufseren Einteilungen verlieren, dagegen an ihren unteren Teilen, wo sie mit dem Stengel zusammenhängen, sich mehr oder weniger ausdehnen. Sehen wir diese Umwandlung schnell vor sich gehen, so rückt der Stengel, von dem Knoten des letzten ausgebildeten Blattes an auf einmal verlängt und verfeinert, in die Höhe und versammelt an seinem Ende mehrere Blätter um eine Achse.

Dafs die Blätter des Kelches eben dieselben Organe seien, welche sich bisher als Stengelblätter ausgebildet sehen lassen, nun aber oft in sehr veränderter Gestalt um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt versammelt stehen, läfst sich, wie uns dünkt, auf das Deutlichste nachweisen. Wir haben schon oben bei den Kotyledonen eine ähnliche Wirkung der Natur bemerkt. Es zeigen die Fichtenarten, indem sie sich aus dem Samenkorn entwickeln, einen Strahlenkranz von unverkennbaren Nadeln; und wir sehen in der ersten Kindheit dieser Pflanze schon diejenige Kraft der Natur

[1] Die Betrachtung einer Dattelpalme im botanischen Garten zu Padua hat Goethe in hohem Grade angeregt und zur Ausreifung seiner morphologischen Vorstellungen beigetragen, wie er in der Geschichte seiner botanischen Studien selbst mitteilt. Goethe erzählt dort, dafs er darauf allen Gestalten in ihren Veränderungen nachgegangen sei; am letzten Ziel seiner Reise, in Sicilien, sei ihm die ursprüngliche Identität aller Pflanzenteile vollkommen klar geworden, er habe nunmehr gesucht, diese überall zu verfolgen und wieder gewahr zu werden.

gleichsam angedeutet, wodurch in ihrem höheren Alter der Blüten- und Fruchtstand gewirkt werden soll.

Diese Kraft der Natur, welche mehrere Blätter um eine Achse versammelt, sehen wir eine noch innigere Verbindung bewirken und sogar diese zusammengebrachten modifizierten Blätter noch unkenntlicher machen, indem sie solche unter einander manchmal ganz, oft aber nur zum Teil, verbindet. Die so nahe gerückten Blätter stellen uns die glockenförmigen oder sogenannten einblätterigen Kelche dar, welche mehr oder weniger von oben herein eingeschnitten oder geteilt uns ihren zusammengesetzten Ursprung deutlich zeigen.

Den Übergang des Kelches zur Krone können wir in mehr als einem Falle bemerken; denn obgleich die Farbe des Kelches noch gewöhnlich grün und der Farbe der Stengelblätter ähnlich bleibt, so verändert sich dieselbe doch oft an einem oder dem andern seiner Teile, an den Spitzen, den Rändern, dem Rücken oder gar an seiner inwendigen Seite, indessen die äufsere noch grün bleibt.

Die Verwandtschaft der Krone mit den Stengelblättern zeigt sich uns auch auf mehr als eine Art, denn es erscheinen an mehreren Pflanzen Stengelblätter schon mehr oder weniger gefärbt, lange ehe sie sich dem Blütenstande nähern; andere färben sich vollkommen in der Nähe des Blütenstandes. Auch geht die Natur manchmal, indem sie das Organ des Kelches gleichsam überspringt, unmittelbar zur Krone über; und wir haben Gelegenheit, in diesem Falle gleichfalls zu beobachten, dafs Stengelblätter in Kronenblätter übergehen. So zeigt sich z. B. manchmal an den Tulpenstengeln ein beinahe völlig ausgebildetes und gefärbtes Kronenblatt. Ja noch merkwürdiger ist der Fall, wenn ein solches Blatt, halb grün und mit seiner einen Hälfte zum Stengel gehörig, an demselben befestigt bleibt, indes ein anderer und gefärbter Teil mit der Krone emporgehoben und so das Blatt in zwei Teile zerrissen wird.

Sehr nahe ist die Verwandtschaft der Kronenblätter mit den Staubwerkzeugen. Die Natur zeigt uns in einigen Fällen diesen Übergang regelmäfsig, z. B. bei Canna und mehreren Pflanzen dieser Familie[1]). Ein wahres, wenig verändertes Kronenblatt

1) Arten der Gattung Canna werden häufig als Gartenzierpflanzen gezogen. Sie gehören zur Familie der Marantaceen. Die Staubgefäfse dieser Pflanzen sind bis auf eins sogenannte Staminodien, d. h. sie sind blumenblattartig gestaltet und besitzen keine Staubbeutel.



zieht sich am oberen Rande zusammen, und es zeigt sich ein Staubbeutel, bei welchem das übrige Blatt die Stelle des Staubfadens vertritt. An Blumen, welche gefüllt erscheinen, können wir diesen Übergang in allen seinen Stufen beobachten. Bei mehreren Rosenarten zeigen sich innerhalb der vollkommen gebildeten und gefärbten Kronenblätter andere, welche teils in der Mitte, teils an der Seite zusammengezogen sind. Diese Zusammenziehung wird von einer kleinen Schwiele bewirkt, welche sich mehr oder weniger als ein vollkommener Staubbeutel sehen läfst, und in eben diesem Grade nähert sich das Blatt der einfacheren Gestalt eines Staubwerkzeugs.

Der Griffel sieht in vielen Fällen fast einem Staubfaden ohne Anthere gleich, und die Verwandtschaft ihrer Bildung ist äufserlich gröfser als bei den übrigen Teilen. Rückschreitend zeigt uns die Natur öfters den Fall, dafs sie die Griffel und Narben wieder in Blumenblätter verwandelt; z. B. füllt sich der Ranuculus asiaticus dadurch, dafs sich die Narben und Griffel des Fruchtbehälters zu wahren Kronenblättern umbilden, indessen die Staubwerkzeuge gleich hinter der Krone oft unverändert gefunden werden.

Auch in den Samenbehältern werden wir unerachtet ihrer mannigfaltigen Bildung, ihrer besonderen Bestimmung und Verbindung unter sich, die Blattgestalt nicht verkennen. So wäre z. B. die Hülse ein einfaches, zusammengeschlagenes, an seinen Rändern verwachsenes Blatt, die Schoten würden aus mehr übereinandergeschlagenen Blättern bestehen[1]), die zusammengesetzten Gehäuse erklärten sich aus mehreren Blättern, welche sich um einen Mittelpunkt vereinigt, ihr Innerstes gegen einander aufgeschlossen und ihre Ränder mit einander verbunden hätten. Wir können uns hiervon durch den Augenschein überzeugen, wenn solche zusammengesetzte Kapseln nach der Reife von einander springen, da dann jeder Teil derselben sich uns als eine eröffnete Hülse zeigt.

---

1) In Wahrheit bildet sich die Schote dadurch, dafs zwei Blätter mit hren Rändern verwachsen; die Fächerung entsteht durch eine die Verwachsungsstellen verbindende häutige Gewebeplatte, die sogenannte falsche Scheidewand.

# 34. Die Begründung der Blütenbiologie.

## C. K. Sprengel, Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen. 1793[1]).

*Christian Konrad Sprengel, geboren 1750 in Brandenburg a. H., studierte Philologie, war zunächst Lehrer in Berlin, dann Rektor in Spandau und starb 1816 in Berlin. Sein Werk, von dem hier die Einleitung im Auszuge wiedergegeben werden soll, fand bei seinen noch vorwiegend der Systematik huldigenden Zeitgenossen kein Verständnis. Erst Charles Darwin entrifs es der Vergessenheit und brachte den Namen Sprengels zu Ehren.*

### Vorbereitung.

Ich hoffe, dafs der Inhalt dieses Buches auch für solche Personen einiges Interesse haben wird, die an der Betrachtung der Werke der Natur ein Vergnügen finden, welchen es aber an Zeit oder Gelegenheit gefehlt hat, eine wissenschaftliche Kenntnis von denselben überhaupt und von den Pflanzen insonderheit sich zu verschaffen. Da dieselben nun, ohne einen Begriff von den Bestandteilen der Blumen zu haben, das Buch schwerlich verstehen würden, so habe ich es für meine Pflicht gehalten, für sie folgende kurze Anweisung aufzusetzen, wobei ich die einem jeden bekannte, obgleich in manchen Stücken von der gewöhnlichen Struktur der Blumen abweichende Tulpe zu Grunde legen will.

Wenn wir in eine Tulpe, welche sich geöffnet hat, hineinsehen, so erblicken wir in der Mitte derselben einen länglichen, dreiseitigen Körper, welcher Pistill (Stempel) genannt wird. Derselbe besteht aus zwei Teilen. Der unterste längere Teil heifst Fruchtknoten und wird zuletzt zur Samenkapsel. Da nun die eigentliche Absicht der Natur, warum sie die Blume hervorbringt, dahin geht, Samenkörner, d. i. Pflanzenembryonen hervorzubringen, so ist dieser Teil der wichtigste unter allen, und die übrigen sind blofs seinetwegen da. Der oberste, kürzere, dreiteilige Teil des Stempels heifst Narbe. Wozu dieselbe dient, kann man nicht einsehen, bevor man nicht weifs, was eine Anthere ist. Um das Pistill herum stehen sechs Körper, welche man die Staubgefäfse (Staubfäden)

1) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 48—51. Herausgegeben von Paul Knuth. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894.



nennt. Ein jeder von denselben besteht aus zwei Teilen. Den untersten nennt man Faden, den obersten, welchen jener trägt, Anthere (Staubbeutel). Sämtliche Antheren sind mit Staub bedeckt, welchen sie selbst bereitet haben. Dieser Staub dient zur Befruchtung des Fruchtknotens oder vielmehr der in demselben befindlichen jungen Samen; und wenn nicht ein hinlänglicher Teil desselben auf die Narbe gebracht wird, so kann aus dem Fruchtknoten keine mit guten und zur Fortpflanzung der Art tüchtigen Samenkörnern angefüllte Samenkapsel werden. Wenn aber der Staub auf die Narbe gekommen ist, so dringt zwar nicht er selbst, da er viel zu grob ist, aber doch das feine, befruchtende Wesen, welches er enthält, durch dieselbe hindurch und in das Innere des Fruchtknotens hinein und wirkt auf die Samenkeime[1]. Wegen der Ähnlichkeit dieser Befruchtungsart mit derjenigen im Tierreich nennt man die Staubgefäfse männlich, das Pistill dagegen den weiblichen Befruchtungsteil; und es ist leicht einzusehen, dafs dieses die wesentlichsten Teile der Blume sind.

Da nun die Tulpe sowohl männliche, als weibliche Befruchtungsteile hat, so ist sie eine Zwitterblume. Hätte sie blofs Staubgefäfse, aber kein Pistill, so würde sie eine männliche, und umgekehrt, wenn sie zwar ein Pistill aber keine Staubgefäfse hätte, eine weibliche Blume sein. Eine Zwitterblume ist an und für sich imstande, eine Frucht anzusetzen, eine weibliche Blume kann schlechterdings keine Frucht ansetzen, wenn nicht auch eine männliche vorhanden ist, von welcher sie Staub erhält, und eine männliche kann zwar selbst keine Frucht ansetzen, verursacht aber, dafs die weibliche solches thun kann. Hieraus folgt, dafs es Pflanzen geben könne, welche blofs Zwitterblumen hervorbringen, aber keine, welche blofs männliche oder blofs weibliche Blumen haben.

Um die Befruchtungsteile der Tulpe herum finden wir sechs Blätter, welche gefärbt sind, d. i. eine andere Farbe haben als die grüne. Dieselben machen zusammen die Krone aus. Ständen um diese herum noch einige Blätter, welche sich sowohl durch die Gestalt, als durch die Farbe von jenen unterschieden, so würde man dieselben den Kelch nennen. Ein solcher Kelch ist bei den meisten Blumen vorhanden.

[1]) Dafs aus dem Staubkorn ein Pollenschlauch hervorwächst, der den Griffel durchdringt und sich mit der Samenknospe vereinigt, wurde erst seit dem Jahre 1823 durch Amici und andere festgestellt. Sprengel glaubte, dafs ein aus den Pollenkörnern hervorschwitzendes Öl die befruchtende Substanz sei.



Der oberste Teil des langen Blumenstiels oder vielmehr des Schaftes, welchem alle dreizehn Bestandteile der Tulpe angefügt sind, heifst der Boden.

## Einleitung.

Als ich im Sommer 1787 die Blume des Waldstorchschnabels (Geranium sylvaticum) aufmerksam betrachtete, fand ich, dafs der unterste Teil ihrer Kronenblätter auf der inneren Seite und an den beiden Rändern mit feinen, weichen Haaren versehen war. Überzeugt, dafs der weise Urheber der Natur auch nicht ein einziges Härchen ohne eine gewisse Absicht hervorgebracht hat, dachte ich darüber nach, wozu denn wohl diese Haare dienen möchten. Hier fiel mir bald ein, dafs wenn man voraussetzte, die fünf Safttröpfchen, welche von ebenso viel Drüsen abgesondert werden, seien gewissen Insekten zur Nahrung bestimmt, man es zugleich nicht unwahrscheinlich finden müfste, es sei dafür gesorgt, dafs dieser Saft nicht vom Regen verdorben werde, und zur Erreichung dieser Absicht seien diese Haare hier angebracht.

Die vier ersten Abbildungen der 18. Kupfertafel (Fig. 32) können zur Erläuterung dessen dienen, was ich sage. Sie stellen den Sumpfstorchschnabel (Geranium palustre) vor, welcher dem Waldstorchschnabel sehr ähnlich ist. Jedes Safttröpfchen sitzt auf seiner Drüse unmittelbar unter den Haaren, welche sich an dem Rande der zwei nächsten Kronenblätter befinden. Da die Blume aufrecht steht und ziemlich grofs ist, so müssen, wenn es regnet, Regentropfen in dieselbe hineinfallen. Es kann aber keiner von denselben zu einem Safttröpfchen gelangen und sich mit demselben vermischen, indem er von den Haaren, welche sich über dem Safttröpfchen befinden, aufgehalten wird, so wie ein Schweifstropfen, welcher an der Stirn des Menschen herabgeflossen ist, von den Augenbrauen und Augenwimpern aufgehalten und verhindert wird, in das Auge hineinzufliefsen. Ein Insekt hin-

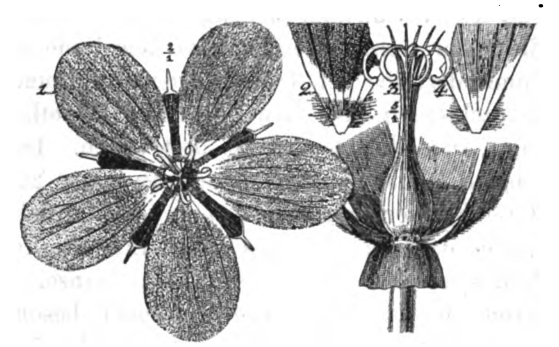


Fig. 32 (Aus Sprengel, das entdeckte Geheimnis der Natur).

gegen wird durch diese Haare keineswegs verhindert zu den Safttröpfchen zu gelangen. Ich untersuchte hierauf andere Blumen und fand, dafs verschiedene derselben etwas in ihrer Struktur hatten, welches eben diesem Endzwecke zu dienen schien. Je länger ich diese Untersuchung fortsetzte, desto mehr sah ich ein, dafs diejenigen Blumen, welche Saft enthalten, so eingerichtet sind, dafs zwar die Insekten sehr leicht zu demselben gelangen können, der Regen aber ihn nicht verderben kann. Ich schlofs hieraus, dafs der Saft dieser Blumen, wenigstens zunächst, um der Insekten willen abgesondert werde, und damit sie denselben rein und unverdorben geniefsen können, gegen den Regen gesichert sei.

Im folgenden Sommer untersuchte ich das Vergifsmeinnicht (Myosotis palüstris). Ich fand nicht nur, dafs diese Blume Saft hat, sondern auch, dafs dieser Saft gegen den Regen völlig gesichert ist. Zugleich aber fiel mir der gelbe Ring auf, welcher die Öffnung der Kronenröhre umgiebt und gegen die himmelblaue Farbe des Kronensaums so schön absticht. Sollte wohl, dachte ich, dieser Umstand sich auch auf die Insekten beziehen? Sollte die Natur wohl diesen Ring zu dem Ende so schön gefärbt haben, damit derselbe den Insekten den Weg zum Safthalter zeige? Ich betrachtete in Rücksicht auf diese Hypothese andere Blumen und fand, dafs die meisten sie bestätigten. Denn ich sah, dafs diejenigen Blumen, deren Krone an einer Stelle anders gefärbt ist, diese Flecken, Figuren, Linien oder Tipfel von besonderer Farbe immer da haben, wo sich der Eingang zum Safthalter befindet. Nun schlofs ich vom Teil auf das Ganze. Wenn, dachte ich, die Krone der Insekten wegen an einer besonderen Stelle besonders gefärbt ist, so ist sie überhaupt der Insekten wegen gefärbt; und wenn jene besondere Farbe eines Teiles der Krone dazu dient, dafs ein Insekt, welches sich auf die Blume gesetzt hat, den rechten Weg zum Saft leicht finden könne, so dient die Farbe der Krone dazu, dafs die mit einer solchen Krone versehenen Blumen den ihrer Nahrung wegen in der Luft umherschwärmenden Insekten als Saftbehältnisse schon von weitem in die Augen fallen.

Als ich im Sommer 1789 einige Arten der Iris untersuchte, fand ich bald, dafs diese Blumen schlechterdings nicht anders befruchtet werden können als durch Insekten. Ich untersuchte, ob auch andere Blumen so gebaut seien, dafs ihre Befruchtung nicht anders als durch Insekten geschehen könne. Meine Untersuchungen überzeugten mich immer mehr davon, dafs viele, ja vielleicht alle

Blumen, welche Saft haben, von den Insekten, die sich von diesem Saft nähren, befruchtet werden, und dafs folglich diese Ernährung der Insekten zwar in Ansehung ihrer selbst Endzweck, in Ansehung der Blumen aber nur ein Mittel und zwar das einzige Mittel zu einem gewissen Endzwecke ist, welcher in ihrer Befruchtung besteht, und dafs die ganze Struktur solcher Blumen sich erklären läfst, wenn man bei Untersuchung derselben folgende Punkte vor Augen hat:

1. Diese Blumen sollen durch diese oder jene Art von Insekten oder durch mehrere Arten derselben befruchtet werden.

2. Dieses soll also geschehen, dafs die Insekten, indem sie dem Saft der Blumen nachgehen und deswegen sich entweder auf den Blumen aufhalten oder in dieselben hineinkriechen, notwendig mit ihrem meist haarigen Körper den Staub der Antheren abstreifen und denselben auf die Narbe bringen, welche zu dem Ende entweder mit feinen Haaren oder mit einer klebrigen Feuchtigkeit überzogen ist.

Im Sommer 1790 entdeckte ich an dem Epilobium angustifolium[1]) etwas, worauf ich von selbst nie würde gefallen sein, nämlich dafs diese Zwitterblume von Hummeln und Bienen befruchtet wird, aber nicht ein jedes Individuum vermittelst seines eigenen Staubes, sondern die älteren Blumen vermittelst desjenigen Staubes, welchen diese Insekten aus den jüngeren Blumen in dieselben schleppen. Diese Entdeckung verbreitete ein grofses Licht über viele meiner früheren Entdeckungen.

Als ich endlich im letztvergangenen Sommer die gemeine Wolfsmilch (Euphorbia Cyparissias) untersuchte, fand ich, dafs bei derselben eine Einrichtung stattfindet, welche gerade das Gegenteil von der soeben angezeigten ist. Diese Blume wird nämlich von Insekten befruchtet, aber so, dafs sie den Staub der älteren Blumen auf die Narben der jüngeren bringen[2]).

Auf diese Hauptentdeckungen gründet sich meine Theorie der Blumen. Ehe ich sie vortrage, mufs ich zwei Vorstellungen er-

---

1) Das in Wäldern häufige schmalblättrige Weidenröschen.

2) Diese als Dichogamie bezeichnete ungleichzeitige Entwicklung der Staubgefäfse und Stempel ist das gewöhnlichste und einfachste Mittel, um die Selbstbefruchtung einer Zwitterblume zu vermeiden. Öffnen sich die Antheren, wenn die Narben noch unentwickelt sind, so heifst die Pflanze protandrisch. Wird die Narbe vor der Verstäubung empfängnisfähig, so kann sie nur den Pollen älterer Blumen empfangen; die Pflanze ist dann protogynisch. Siehe die späteren Ausführungen Sprengels.

wähnen, welche man sich bisher von dem Endzweck des süfsen Saftes der Blumen gemacht hat. Verschiedene Botaniker haben geglaubt, dafs dieser Saft unmittelbar und zunächst den Blumen selbst zu statten komme, indem er entweder die Befruchtung des Fruchtknotens dadurch befördere, dafs er denselben feucht und geschmeidig mache, oder indem er den Samen bei seiner Tüchtigkeit zu keimen erhalte. Nach dieser Vorstellung würde der Umstand, dafs Insekten diesem Saft nachgehen, nicht nur für etwas Zufälliges und eine Nebensache, sondern sogar für etwas den Blumen Nachteiliges angesehen werden müssen.

Nun ist zwar in vielen Blumen dieser Saft dem Fruchtknoten nahe genug, in manchen wird er sogar von demselben selbst bereitet und abgesondert; aber hieraus folgt noch nicht, dafs er auch dem Fruchtknoten unmittelbar zu statten komme. Bei vielen Blumen hingegen ist der Saft so weit vom Fruchtknoten entfernt, dafs man nicht begreift, wie er zu demselben gelangen soll.

Die andere Hypothese besagt, dafs die Bienen den Pflanzen Nutzen verschaffen. Der Saft, den die Blumen absondern, werde denselben schädlich, wenn er nicht von den Bienen abgeholt werde. Derselbe sei anfangs flüssig, verändere sich aber, ohne zu verdunsten, häufe sich bald an, werde endlich ganz verdickt und überziehe dort, wo er liegen bleibe, die feinsten Ausgänge und verhindere Ausbildung und Wachstum der Früchte. Diese Hypothese ist der ersten gerade entgegengesetzt. Nach der ersten ist der Saft dem Fruchtknoten nützlich, nach der andern schädlich; nach der ersten ist der Umstand, dafs der Saft von den Insekten verzehrt wird, etwas Zufälliges und den Blumen Schädliches, nach der anderen ist derselbe den Blumen nützlich und scheint eine Veranstaltung der Natur zu sein.

Bei allen Blumen, welche Saft absondern, müssen folgende fünf Punkte bemerkt werden:

1. Die Saftdrüse ist derjenige Teil einer Saftblume, welcher Saft bereitet und absondert. Die Gestalt derselben und der Ort, an welchem sie sich befindet, ist höchst mannigfaltig und verschieden. Oft fällt die Saftdrüse, wenn man die Blume ansieht, sogleich in die Augen; oft ist sie ziemlich versteckt, sodafs es, besonders wenn sie dabei sehr klein ist, einige Mühe kostet sie zu finden. Endlich ist die Saftdrüse meist gefärbt und selten grün. Die gewöhnlichste Farbe ist gelb, die seltenere weifs, pomeranzengelb, kirschrot etc. Diese verschiedene Farbe rührt vermutlich meist von der verschiedenen Beschaffenheit und Mischung ihrer

Bestandteile her; zuweilen scheint aber noch durch dieselbe eine gewisse Absicht erreicht werden zu sollen, nämlich dafs die Saftdrüse den Insekten in die Augen falle.

2. Der Safthalter ist der Teil einer Saftblume, welcher den von der Saftdrüse abgesonderten Saft empfängt und enthält. Seine innere Fläche ist jederzeit glatt. Denn sowie das Innere derjenigen Gefäfse, in welchen man flüssige Körper aufbewahren will, glatt sein mufs, besonders wenn die flüssigen Körper edel und kostbar sind, damit bei Ausleerung derselben nichts zurückbleibe, ebenso mufs auch der Safthalter inwendig glatt sein, damit die Insekten den Saft rein aussaugen oder ablecken können. Die Gestalt des Safthalters und der Ort, wo er sich befindet, ist sehr mannigfaltig und verschieden. Meist ist derselbe unmittelbar bei der Saftdrüse befindlich, zuweilen von derselben entfernt; oft ist die Saftdrüse[1]) selbst zugleich der Safthalter.

3. Die Saftblumen sind so eingerichtet, dafs zu ihrem Saft zwar die Insekten leicht gelangen, die Regentropfen aber, welche auf oder in dieselben gefallen sind, immer in einiger Entfernung von dem Saft bleiben und sich folglich mit demselben nicht vermischen, noch ihn verderben können. Wie die Menschen die Öffnungen derjenigen Gefäfse, in welchen sie köstliche Flüssigkeiten aufbewahren, zustopfen, damit weder diese Flüssigkeiten verdunsten, noch Staub, Regen und andere fremdartige Körper sich mit denselben vermischen, so hat auch der gütige und weise Urheber der Natur, nicht zufrieden damit, dafs er in den Blumen einen köstlichen Saft für die Insekten bereitet hat, die zweckmäfsigsten und vortrefflichsten Anstalten getroffen, damit dieser Saft vor allem Verderb durch den Regen gesichert sei. So gehört dahin vornehmlich, dafs die innere Fläche der Krone mit feinen Haaren überzogen ist, ferner dafs, wenn diese Oberfläche glatt ist, die Krone ein feines Öl auszuschwitzen scheint. In diesen Fällen äufsern die Teile eines auf die Krone gefallenen Regentropfens, weil sie von derselben wenig angezogen werden, ihre Anziehungskraft mehr gegeneinander, und der Regentropfen bekommt eine kugelförmige Gestalt. Auf solche Art kann er nicht lange in oder auf der Krone haften, sondern mufs, sobald die Blume vom Winde geschüttelt wird, heraus- oder herabfallen. Wenn er aber auch

[1]) Die Saftdrüsen werden heute Nektarien, der Saft Nektar genannt. Als Safthalter dienen häufig die Aussackungen der Blumenblätter; so besitzt beim Veilchen ein Blumenblatt einen hohlen Sporn, in welchen die Auswüchse zweier Staubgefäfse hineinragen, die den Nektar absondern.

sitzen bleibt, so kann er doch nicht bis zum Saft kommen. Er trifft, indem er hinabfliefst, eine Reihe von Haaren an, welche über dem Safthalter angebracht sind und meist nach oben zu mit der Oberfläche der Krone einen spitzen Winkel bilden, folglich dem Tropfen ihre Spitzen zukehren und ihn vom Safthalter abhalten. Oder der Tropfen gerät an einen Ansatz, vor welchem er stehen bleiben mufs. Zuweilen bleibt er zwischen den Antheren und der Krone haften und kann nicht zu dem Safttröpfchen, welches unten an den Staubfäden sitzt, gelangen.

Ferner giebt es hängende Blumen. Sie kehren ihre äufsere Seite den herabfallenden Regentropfen zu, die innere ist denselben wenig oder gar nicht ausgesetzt, besonders wenn sie eine glocken-, walzen- oder kugelförmige Gestalt haben. Nun befindet sich der Saft oben im Grunde dieser Blumen, zu welchem hinaufzusteigen die Regentropfen durch ihre eigene Schwere verhindert werden. Man darf also bei ihnen am wenigsten besondere Anstalten zur Abhaltung der Regentropfen erwarten.

4. Dafs die meisten Blumen Saft absondern, und dafs dieser Saft gegen den Regen gesichert ist, würde den Insekten nichts helfen, wenn nicht zugleich dafür gesorgt wäre, dafs sie dieses ihnen bestimmte Nahrungsmittel leicht finden können. Die Natur, welche nichts halb thut, hat auch in diesem Punkte die zweckmäfsigsten Anordnungen getroffen. Erstlich hat sie dafür gesorgt, dafs die Insekten die Blumen schon von weitem gewahr werden, entweder durch das Gesicht oder durch den Geruch oder durch beide Sinne zugleich. Alle Saftblumen sind deswegen mit einer Krone verziert, und sehr viele verbreiten einen Geruch, welcher den Menschen meist angenehm, oft unangenehm, zuweilen unausstehlich, den Insekten aber, für welche ihr Saft bestimmt ist, jederzeit angenehm ist. Die Krone ist (sehr wenige Arten ausgenommen) gefärbt, d. h. anders gefärbt als grün, damit sie gegen die grüne Farbe der Pflanzen absticht.

Wenn nun ein Insekt, durch die Schönheit der Krone oder durch den angenehmen Geruch einer Blume gelockt, sich auf dieselbe begeben hat, so wird es entweder den Saft sogleich gewahr oder nicht, weil dieser sich an einem verborgenen Orte befindet. Im letzteren Falle kommt ihm die Natur durch das Saftmal zu Hilfe. Dieses besteht aus einem oder mehreren Flecken, Linien, Tüpfeln oder Figuren von einer anderen Farbe als die der Krone, und sticht folglich gegen letztere schwächer oder stärker ab. Das

Saftmal befindet sich jederzeit da, wo die Insekten hineinkriechen müssen, wenn sie zum Saft gelangen wollen.

Bei Gelegenheit des Saftmals mufs ich von der Verschiedenheit der Saftblumen reden, welche auf der Tageszeit, in welcher sie blühen, beruht. So wie es Insekten giebt, die blofs bei Tage umherschwärmen und solche, die nur des Nachts ihrer Nahrung nachgehen, ebenso giebt es auch Tages- und Nachtblumen. Die Tagesblumen brechen des Morgens auf. Viele von ihnen schliefsen sich des Abends oder senken sich, während sie am Tage aufrecht standen, oder es geht eine andere Veränderung mit ihnen vor, woraus man schliefsen kann, dafs sie nur für Tagesinsekten bestimmt sind. Die Tagesblumen nun sind mit einem Saftmal geziert, obgleich nicht alle. Die Nachtblumen brechen des Abends auf. Bei Tage sind die meisten von ihnen geschlossen, woraus erhellt, dafs sie für Tagesinsekten nicht bestimmt sind.

Die Nachtblumen haben eine grofse und hellgefärbte Krone, damit sie in der Dunkelheit der Nacht den Insekten in die Augen fallen. Ist die Krone unansehnlich, so wird dieser Mangel durch einen starken Geruch ersetzt. Ein Saftmal hingegen findet sich bei ihnen nicht. Hätte z. B. die weifse Krone einer Nachtblume ein Saftmal von einer anderen aber auch hellen Farbe, so würde dasselbe in der Dunkelheit der Nacht gegen die Farbe der Krone nicht abstechen, folglich ohne Nutzen sein. Hätte sie aber ein dunkelgefärbtes Saftmal, so würde dies nicht in die Augen fallen, folglich ebenso unnütz sein wie jenes.

5. Ich habe schon oben gesagt, dafs alle diese Anstalten sich zwar zunächst und unmittelbar auf die Insekten, vermittelst der Dazwischenkunft dieser aber auf die Blumen selbst beziehen, indem der letzte Endzweck derselben dahin geht, dafs die Blumen von den Insekten befruchtet werden.

Dafs die Insekten zur Befruchtung der Blumen das Ihrige beitragen, ist an und für sich schon von anderen bemerkt worden. Meines Wissens ist Kölreuter[1]) hierin am weitesten gekommen. Es hat aber noch niemand gezeigt, dafs die ganze Struktur der Saftblumen auf diesen Endzweck abzielt und sich aus demselben vollständig erklären läfst. Für diese Befruchtung der

[1]) D. J. G. Kölreuter, Vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen (1761—1766). Herausgegeben von W. Pfeffer in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften Nr. 41. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig 1893.



Blumen durch Insekten ist ein unleugbarer Beweis die von mir zuerst entdeckte Einrichtung sehr vieler Zwitterblumen, vermöge welcher ein jedes Individuum derselben nicht durch seinen eigenen, sondern blofs durch eines andern Staub befruchtet werden kann. Diese Einrichtung nenne ich das ungleichzeitige Blühen oder die Dichogamie. Dieselbe besteht darin: Nachdem die Blume sich geöffnet hat, haben oder erhalten die Staubfäden entweder alle zugleich oder eines nach dem andern eine bestimmte Stellung, in welcher ihre Antheren sich öffnen und ihren Staub zur Befruchtung darbieten. Unterdessen aber befindet sich die Narbe an einer von den Antheren entfernten Stelle und ist noch klein und fest geschlossen. Es kann also der Staub der Antheren schlechterdings weder auf eine mechanische Art noch durch ein Insekt auf die Narbe gebracht werden, weil sie noch nicht existiert. Dieser Zustand währt eine bestimmte Zeit. Wenn nach Verlauf derselben die Antheren keinen Staub mehr enthalten, so gehen mit den Staubfäden verschiedene Veränderungen vor, deren Resultat darin besteht, dafs die Antheren nicht mehr dieselbe Stelle einnehmen, wie vorher. Unterdessen hat sich der Stempel so verändert, dafs nun die Narbe gerade an der Stelle sich befindet, wo vorher die Antheren waren. Da sie sich nun auch öffnet, oder die Teile, aus welchen sie besteht, von einander breitet, so nimmt sie auch ungefähr eben den Raum ein, welchen vorher die Antheren eingenommen haben. Indessen kann sie von den Antheren keinen Staub erhalten, weil dieselben keinen mehr haben. Nun ist aber diejenige Stelle, wo anfänglich die geöffneten Antheren und hernach die geöffnete Narbe sich befinden, in jeder Blume so gewählt, dafs das Insekt, für welches die Blume bestimmt ist, nicht anders zum Safte gelangen kann, als dafs es zugleich mit einem Teile seines Körpers in der jüngeren Blume die Antheren und in der älteren die Narbe berührt, den Staub von jenen abstreift und auf diese bringt, und auf solche Art die ältere Blume durch den Staub der jüngeren befruchtet.

Solche dichogamische Zwitterblumen sind also im Anfange männliche und zuletzt weibliche Blumen.

Diese Einrichtung hatte ich im Juli 1790 an dem Weidenröschen (Epilobium angustifolium) entdeckt. Von dieser Zeit an bis zum Mai des folgenden Jahres bemerkte ich dieselbe an verschiedenen Gattungen, ja an ganzen Familien so leicht und so deutlich, dafs ich mich darüber wundern mufste, dafs dieselbe nicht schon längst von anderen und nicht weit eher von mir ent-

deckt worden war. Während dieses ganzen Zeitraumes kam mir aber niemals der Gedanke in den Sinn, ob wohl auch das Gegenteil dieser Einrichtung von der Natur möchte beliebt worden sein, ob es also Blumen gäbe, deren Narbe zuerst geöffnet ist, deren Staubgefäfse aber erst nach vollendeter Befruchtung des Fruchtknotens sich öffnen. So natürlich es war, auf diese Vorstellung von selbst zu fallen, so blieb mir doch dieselbe so lange fremd, bis mich die Natur selbst darauf brachte. Dies geschah, als ich im Mai des nächstvergangenen Jahres die Wolfsmilch (Euphorbia Cyparissias) untersuchte. Ich sah nämlich, dafs, sobald eine Blume aufgebrochen ist, zuerst die Narben aus derselben hervorkommen, gerade in die Höhe stehen und sich voneinander breiten. Nach einigen Tagen kommt das ganze Pistill, welches auf einem eigenen Stielchen sitzt, aus der Blume heraus, verliert nach und nach die aufrechte Stellung und kehrt endlich die Narben der Erde zu[1]. Alsdann erst kommen die Staubgefäfse eines nach dem andern aus der Blume zum Vorschein, und die Antheren nehmen nun eben die Stelle ein, welche vorher die Narben einnahmen. Da ich nun schon lange vorher entdeckt hatte, dafs diese Blume eine Saftblume ist, so sah ich ein, dafs dieselbe wegen dieser Einrichtung nicht anders als von Insekten befruchtet werden könne, dafs sie aber auch wegen eben derselben von Insekten befruchtet werden müsse. Denn wenn dieselben die ältere Blume besuchen, so müssen sie notwendig den Staub der Antheren abstreifen. Und eben deswegen, damit sie dieses ungehindert thun können, hat das Pistill seine vorige Stelle verlassen und sich der Erde zugekehrt. Wenn sie aber hierauf eine jüngere Blume besuchen, so müssen sie wieder notwendig mit ihrem bestäubten Körper die Narben berühren, dieselben bestäuben und auf solche Art die jüngere Blume mit dem Staube der älteren befruchten.

Was nun die Insekten betrifft, von welchen ich aus Erfahrung beweisen kann, dafs sie die Blumen befruchten, so sind dieses vorzüglich die Bienen und die Hummeln. Die Geschicklichkeit dieser Tierchen, den Saft zu finden, wenn er auch noch so versteckt ist, hat mich oft in Erstaunen versetzt. Wer keine Kenntnis von den Blumen hat, wird vielleicht, wenn er das Löwenmaul (Antirrhinum majus) zum erstenmal sieht, glauben, dafs die Unterlippe desselben mit der Oberlippe ein einziges Stück ausmacht, denn beide

[1]) Weidenröschen und Wolfsmilch sind so häufige Pflanzen, dafs der Leser leicht imstande sein wird, sich von der Richtigkeit der Angaben Sprengels zu überzeugen.

schliefsen dicht aneinander. Hat sich aber eine Hummel der Blume genähert, so wird sie nicht etwa erst Versuche anstellen, ob und wie sie hineinkommen könnte. Da sie sehr wohl weifs, was der gelbe Fleck bedeutet, so setzt sie sich sogleich auf die Unterlippe, entfernt sie von der Oberlippe und kriecht zwischen beiden in die Blume hinein. Damit diese Tierchen die Blumen befruchten können, ist ihr Körper überall behaart, weil sie den Staub der Antheren abwischen und auf die Narbe bringen sollen.

Dafs nun diese und andere Insekten, indem sie in den Blumen ihrer Nahrung nachgehen, zugleich, ohne es zu wollen und zu wissen, dieselben befruchten und dadurch den Grund zu ihrer und ihrer Nachkommen künftigen Erhaltung legen müssen, scheint mir eine von den bewunderungswürdigsten Veranstaltungen der Natur zu sein.

Da die Befruchtung des Fruchtknotens durch Insekten der Endzweck ist, auf welchen sich die ganze Struktur der meisten, ja vermutlich aller eigentlichen und mit einer Krone versehenen Saftblumen bezieht, so ist diese Struktur alsdann vollständig erklärt, wenn man gezeigt hat, dafs und wie alle Teile derselben zur Erreichung dieses Endzwecks das ihrige beitragen.

Die erste Frage, welche bei Untersuchung irgend einer Blume beantwortet werden mufs, ist die, ob sie eine Saftblume sei oder nicht. Hat man sich davon überzeugt, dafs eine Blume eine Saftblume ist, so ist die zweite Frage, ob dieselbe von Insekten besucht und befruchtet wird.

Wer sich also Blumen aus den Gärten und vom Felde holen läfst und sie auf seinem Studierzimmer untersucht, der wird keineswegs den Plan der Natur im Bau derselben entdecken. Man mufs vielmehr die Blumen an ihrem natürlichen Standort untersuchen und besonders darauf achten, ob sie von Insekten und von welchen Insekten sie besucht werden, wie sich diese verhalten, indem sie in die Blumen hineinkriechen und ihren Saft verzehren, ob sie die Antheren und die Narbe berühren, ob sie irgend eine Veränderung in Ansehung irgend eines Teils der Blumen hervorbringen etc. Kurz, man mufs die Natur auf der That zu ertappen suchen.

Man mufs die Blumen zu verschiedenen Tageszeiten beobachten und untersuchen, damit man erfährt, ob sie Tages- oder Nachtblumen sind, und bei verschiedener Witterung, z. B. während eines Regens und nach demselben, damit man einsieht, auf welche Weise ihr Saft gegen den Regen gesichert ist. Besonders aber sind die Mittagsstunden, wenn die am unbewölkten Himmel hochstehende Sonne warm oder wohl gar heifs scheint, diejenige Zeit, da man fleifsig Beobachtungen anstellen

mufs. Denn die Tagesblumen erscheinen alsdann in ihrer gröfsten Schönheit und buhlen mit allen ihren Reizen um den Besuch der Insekten. Die letzteren aber, denen die gröfste Hitze gerade am liebsten ist, sind alsdann in und auf den Blumen in der gröfsten Thätigkeit, ihrer Absicht nach, um im Nektar derselben zu schwelgen, nach der Absicht der Natur aber, um die Blumen zugleich zu befruchten. Im Reiche der Flora, deren Weisheit nicht minder bewunderungswürdig ist als ihre Schönheit, geschehen alsdann Wunderdinge, von welchen der Stubenbotaniker nicht einmal eine Ahnung hat.

Alle Blumen, welche keine eigentliche Krone, noch an Stelle derselben einen ansehnlichen und gefärbten Kelch haben, noch riechen, sind saftleer und werden nicht von den Insekten, sondern auf eine mechanische Art, nämlich durch den Wind befruchtet. Derselbe weht den Staub von den Antheren an die Narben oder verursacht dadurch, dafs er die Blume schüttelt, dafs der Staub von den Antheren auf die Narben fällt.

Die Blumen, welche vom Winde befruchtet werden, unterscheiden sich von den Blumen der anderen Art durch die gröfsere Menge Staubes. Wenn z. B. die Blumen einer weiblichen Pappel durch den Staub eines benachbarten männlichen Baumes mit Hülfe des Windes befruchtet werden sollen, so mufs der männliche Baum bei weitem mehr Staub bereiten, als gerade zur Befruchtung aller Blumen des weiblichen Baumes nötig ist. Denn der Wind weht nicht jederzeit den Staub gerade auf den weiblichen Baum zu, bringt auch nicht ein jedes Stäubchen gerade auf eine solche Blume, welche noch nicht befruchtet ist. Auch wäscht der Regen nicht nur viel Staub von den Antheren ab, da dieselben ihm bei dergleichen Blumen sehr ausgesetzt sind, sondern er schlägt auch den schon abgeflogenen und in der Luft befindlichen Staub nieder. Folglich mufs hier weit mehr Staub vorhanden sein, als gerade zur Befruchtung nötig ist. Dieses wird durch die Erfahrung bestätigt. Die Kiefer (Pinus silvestris) z. B. hat so viel Staub und verstreut denselben in solcher Menge in die Luft, dafs es während ihrer Blütezeit, wie die gemeinen Leute sagen, zuweilen Schwefel regnet. Man schlage z. B. mit einem Stock auf den blühenden Zweig einer Kiefer, so wird man eine grofse Staubwolke hervorbringen. Schlägt man aber auf einen blühenden Johannis- oder Stachelbeerstrauch, so wird sich keine solche Staubwolke zeigen. Die zweilippigen Blumen haben nicht mehr als vier Antheren, einige nur zwei, können also nur wenig Staub bereiten; dieser ist

aber zur Befruchtung völlig ausreichend, weil dieselbe nicht durch den Wind, sondern durch die Insekten geschieht.

Hierbei ist noch zu bemerken, dafs jener Versuch, um sich von der Menge des Staubes der Blumen von der ersten Art zu überzeugen, bei windstillem Wetter geschehen mufs. Wenn der Wind weht, wird sich wenig oder gar kein Staub zeigen, weil der Wind denselben schon verweht hat. Auch dadurch unterscheiden sich nämlich diese Blumen von den Blumen anderer Art, dafs ihr Staub sehr flüchtig ist und durch das geringste Lüftchen leicht fortgeführt wird[1]. Endlich müssen bei den Blumen der ersten Art sowohl die Antheren als die Narben frei an der Luft liegen, damit der Wind den Staub von jenen auf diese führen kann. Ferner müssen die letzteren von ansehnlicher Gröfse sein, weil, wenn sie sehr klein sind, es nur selten geschehen kann, dafs sie Staub erhalten. Bei den Blumen der anderen Art hingegen ist weder jenes noch dieses nötig, sondern es kommt bei denselben blofs darauf an, dafs die Antheren und Narben sich gerade an einer solchen Stelle befinden, dafs sie von dem zur Befruchtung bestimmten Insekt, indem dasselbe in die Blume hineinkriecht, berührt werden müssen. Ist die Narbe in diesem Falle auch noch so klein, so wird sie doch jedesmal von dem Insekt bestäubt.

---

# 35. Saussure begründet die Ernährungsphysiologie der Pflanzen. 1800.

## Saussure, Chemische Untersuchungen über die Vegetation[2].

*Nicolas Théodore de Saussure wurde 1767 in Genf geboren und starb daselbst im Jahre 1845. Seine „Chemischen Untersuchungen" (Recherches chimiques sur la végétation) sind eines der hervorragendsten Werke über die Ernährungsphysiologie der Pflanzen, welche hier zum ersten Male quantitativ behandelt wird. Die nach-*

---

[1] Die Pollenkörner der Kiefer sind nicht nur sehr leicht, sondern besitzen auch hohle blasige Auftreibungen, welche zur Vergröfserung ihrer Flugfähigkeit beitragen.

[2] Chemische Untersuchungen über die Vegetation von Théod. de Saussure. Übersetzt von A. Wieler. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 15 und 16. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1890.

*folgenden Abschnitte sind der Vorrede und dem zweiten Kapitel entnommen, das den Einflufs des kohlensauren Gases auf die Vegetation erörtert.*

Die Untersuchungen, mit denen ich mich in diesem Werke beschäftige, haben den Einflufs des Wassers, der Luft und des Humus auf die Vegetation zum Gegenstande. Ich gedenke indessen nicht in alle Teile dieses ausgedehnten Gebietes einzudringen. Ich werde die Fragen erörtern, welche durch das Experiment entschieden werden können, und auf diejenigen verzichten, welche nur Mutmafsungen Raum geben. Thatsachen allein führen in der Naturgeschichte zur Wahrheit. Indem man diesen Weg verfolgt, ist man gezwungen anzuerkennen, dafs die Auffindung der von der Natur für die Entwicklung der Pflanzen und für die Zusammensetzung ihrer Stoffe benutzten Mittel noch lange aufserhalb des Bereiches der Möglichkeit für uns liegen wird.

Die Rolle des Wassers und der Gase bei der Ernährung der Gewächse, die Veränderungen, welchen durch sie die Atmosphäre unterliegt, sind die Gegenstände, welche ich am eingehendsten erforscht habe. Die Beobachtungen Priestley's, Senebier's und Ingenhousz's[1]) haben die Bahn eröffnet, welche ich durchlief, aber sie haben nicht das Ziel erreicht, welches ich mir setzte.

Die Samen keimen in reinem kohlensauren Gas nicht. Eine kleine Menge dieses Gases (etwa ein Zwölftel), welche der atmosphärischen Luft beigemischt das Vegetieren der entwickelten Pflanzen in der Sonne begünstigt, schadet der Keimung und verzögert sie im Lichte wie im Schatten mehr als die gleiche Menge Wasserstoffgas oder Stickstoff. Wenn man unter einen Recipienten, unter dem man Samen mit reinem Wasser und atmosphärischer Luft keimen läfst, Kali oder eine andere Substanz bringt, die fähig ist, das kohlensaure Gas zu absorbieren, welches die

---

[1]) Priestley (1733—1804) erkannte, dafs grüne Pflanzen verdorbene Luft durch Zuführung von Sauerstoff wieder zur Unterhaltung der Atmung und Verbrennung geeignet machen (Philosophical Transactions 1772. Bd. 62. S. 168 und 193 ff.).

Ingenhousz (1730—1799) stellte fest, dafs dies nur im Lichte geschieht, und dafs die Pflanzen im Dunklen Kohlendioxyd ausatmen (Versuche mit Pflanzen 1779; übersetzt von Scherer 1786).

Senebier (1742—1809) entdeckte endlich, dafs der ausgeschiedene Sauerstoff durch Zersetzung des Kohlendioxyds entsteht. Seine ausgedehnten Untersuchungen über den Einflufs des Lichtes auf die Vegetation fallen in die Jahre 1782—1788.

Näheres über diese drei Forscher siehe Bd. II.

Samen mit dem Sauerstoff der umgebenden Luft bilden, so wird ihre Entwicklung dadurch ein wenig beschleunigt. Es schien mir immer, als ob die Keimung sich eher im feuchten Sande oder zwischen zwei feuchten Schwämmen als im Humus abspielte, und als ob der letztere kohlensaures Gas liefere[1]. Im allgemeinen scheint dieses Gas den Gewächsen nur so weit nützlich zu sein, als sie es zersetzen können; und die Samen scheinen im ersten Stadium ihrer Entwicklung diese Zersetzung in wahrnehmbarer Weise nicht ausführen zu können. Beachten wir jedoch, dafs es unmöglich ist, zu entscheiden, ob eine vollständige Abwesenheit ihnen schädlich oder nützlich ist, da die Samen beim Keimen eine zu grofse Menge kohlensaures Gas bilden, als dafs man dasselbe ganz entfernen könnte.

Wenn man frisch gekeimte Samen mittelst schwach mit kohlensaurem Gase geschwängertem Wasser ernährt, so scheint es ihnen in dieser Periode weniger günstig zu sein als in späteren Abschnitten ihrer Entfaltung. Ich liefs in zwei Bechern, von denen der eine mit destilliertem, der andere mit angesäuertem Wasser gefüllt war, zwei mit 24 Löchern versehene Platten schwimmen, die dazu bestimmt waren, ebenso viele in destilliertem Wasser gekeimte Erbsen aufzunehmen. Ihre Würzelchen hatten beim Beginne des Experiments eine Länge von sechs Millimetern.

Nach Verlauf von zehn Tagen hatten sich die Wurzeln im destillierten Wasser um 1,3 dm mehr verlängert als diejenigen in dem gashaltigen Wasser; die Stengel und Blätter waren in demselben Verhältnis entwickelt. Aber nach Verlauf eines Monats, als die durch gashaltiges Wasser ernährten Pflanzen sich stärker entwickelt hatten, unterschieden sie sich nicht mehr von denjenigen, welche in reinem Wasser wuchsen. Diese wurden sogar ihrerseits durch die ersten übertroffen; denn die Erbsenpflanzen im gashaltigen Wasser hatten nach Verlauf von sechs Wochen eine Zunahme von 46,4 g erfahren, während diejenigen, welche in reinem Wasser wuchsen, um 45,5 g zugenommen hatten.

In den soeben mitgeteilten Versuchen wuchsen die Stengel der Pflanzen in freier Luft und empfingen nur durch die Wurzeln das fremde kohlensaure Gas, welches ihnen im Wasser gelöst geboten wurde. Es bleibt mir jetzt noch übrig zu prüfen, ob dies Gas den Pflanzen nützlich ist, wenn es ihnen als Atmosphäre dient.

---

[1]) Dies ist thatsächlich der Fall, da der Humus in seiner Zusammensetzung zwischen der Pflanzensubstanz und den letzten Oxydationsprodukten derselben, dem Kohlendioxyd und Wasser, steht und sich allmählich in letztere verwandelt.

Mit Hülfe von Wasser liefs ich Erbsen keimen, bis jede Pflanze eine Höhe von ungefähr einem Decimeter erreicht hatte und ein Gramm wog. Alsdann stellte ich für jeden Versuch drei dieser Erbsen in ein Wasserglas, sodafs die Wurzeln allein in diese Flüssigkeit eintauchten, und brachte sie zusammen mit verschiedenen Gemischen aus gewöhnlicher Luft und kohlensaurem Gas in Recipienten, welche durch Wasser abgesperrt waren. Dieses Wasser wurde mit einer Ölschicht bedeckt, wenn die Recipienten mehr als die Hälfte ihres Volumens an kohlensaurem Gas enthielten[1]). Die drei Pflanzen hatten in jedem Experiment eine Atmosphäre von 990 ccm zur Verfügung und nahmen selbst nicht den vierhundertsten Teil ein. Sie wurden täglich während fünf oder sechs Stunden von den direkten Sonnenstrahlen getroffen, welche bei zu grofser Intensität gedämpft wurden.

Die mittlere Gewichtszunahme der während zehn Tage der Sonne ausgesetzten Pflanzen betrug 425 mg für jede Erbse in reiner atmosphärischer Luft. Diese Gewichtszunahme war zum gröfsten Teil oder vielleicht ganz der Zufuhr von flüssigem Wasser, d. h. von Vegetationswasser, zu den Blättern, welche sich während des Experimentes entwickelten und ihre feste Substanz aus den noch dicken, an der Pflanze hängenden Keimblättern schöpften, zuzuschreiben. Diese Keimblätter enthielten drei- oder viermal weniger Vegetationswasser als die Blätter, zu deren Entwicklung sie beitrugen. Bei der nämlichen Exposition verwelkten diese Pflanzen, sobald sie mit reinem kohlensauren Gas in Berührung gekommen waren.

Dasselbe Schicksal erlitten sie in einer Atmosphäre, die drei Viertel oder zwei Drittel des Volumens an kohlensaurem Gas enthielt.

Sie wuchsen sieben Tage lang in einem Gefäfse, dafs die Hälfte seines Volumens an kohlensaurem Gas enthielt; nach diesem Zeitpunkt hörten sie auf zu wachsen.

Die Pflanzen, deren Atmosphäre ein Viertel des Volumens an kohlensaurem Gas enthielten, hielten sich während der zehn für den Versuch bestimmten Tage, gediehen aber wenig. Jede Erbse nahm um 265 mg zu.

Bei einem Achtel an kohlensaurem Gas betrug die mittlere Zunahme 371 mg.

---

1) **Offenbar, um zu verhindern, dafs das kohlensaure Gas vom Wasser verschluckt wurde.**



Die mittlere Zunahme jeder Pflanze betrug in einer Atmosphäre von gewöhnlicher Luft, deren kohlensaures Gas den zwölften Teil ausmachte, 583 mg. Ich habe diesen Versuch mehrmals wiederholt, und die Pflanzen gediehen beständig besser darin als in reiner atmosphärischer Luft[1]). Die in letzterer wachsenden Pflanzen veränderten sie weder an Reinheit noch an Volumen wahrnehmbar; diejenigen aber, welche in dem künstlichen Gemisch wuchsen, verwandelten fast alles kohlensaure Gas in Sauerstoff.

Priestley hat zuerst erkannt, dafs die Blätter die Eigenschaft besitzen, die durch Verbrennung oder Atmung verdorbene Luft zu verbessern, aber er ist nicht auf die Ursache dieser Erscheinung zurückgegangen. Senebier hat entdeckt, dafs die Blätter das kohlensaure Gas zersetzen, indem sie sich den Kohlenstoff aneignen und das Sauerstoffgas ausscheiden. Er beobachtete, dafs die frischen, der Sonne ausgesetzten Blätter in Quellwasser oder in Wasser, welches leicht mit kohlensaurem Gas geschwängert war, so lange Sauerstoff entwickelten, als kohlensaures Gas im Wasser vorhanden war. Aber man hat die Produkte der Zersetzung des kohlensauren Gases noch nicht analysiert, man hat ferner nicht bestimmt, ob die Menge des ausgeschiedenen Sauerstoffgases gröfser oder geringer oder gleich ist derjenigen, welche an der Zusammensetzung des kohlensauren Gases teilnimmt. Der Lösung dieser Frage sind die folgenden Experimente gewidmet.

Ich habe aus kohlensaurem Gas und gewöhnlicher Luft, in der das Phosphoreudiometer 21 % Sauerstoff anzeigte, eine künstliche Atmosphäre hergestellt, welche 5,746 Liter einnahm[2]). Kalkwasser[3]) zeigte in derselben $7^1/_2$ % kohlensaures Gas an. Das Luftgemisch wurde in einen Recipienten eingeschlossen, der durch feuchtes Quecksilber abgesperrt war, d. h. Quecksilber, welches mit einer sehr dünnen Wasserschicht bedeckt war, um die Berührung dieses Metalls mit der die Pflanzen umgebenden Luft zu verhindern.

[1]) Darunter versteht Saussure Luft, welche durch Schütteln mit Kalkwasser von Kohlendioxyd befreit ist.

[2]) Das Eudiometer (Luftgütemesser) besteht aus einer graduierten Röhre, in welcher ein bestimmtes Luftquantum über Quecksilber abgesperrt und der Einwirkung Sauerstoff entziehender Mittel (Phosphor nach Berthollet; Schwefelkalium nach Scheele, siehe S. 169a) ausgesetzt wird. Die Differenz der Volumina vor und nach dem Versuch zeigt den Sauerstoffgehalt der Luft an.

[3]) Das kohlensaure Gas, $CO_2$, wird vom Kalkwasser, $Ca(OH)_2$, unter Bildung von kohlensaurem Kalk, $CaCO_3$, absorbiert.

Ich habe nämlich festgestellt, dafs diese Berührung dem Leben der Pflanzen bei lange dauernden Versuchen schädlich ist.

In diesen Recipienten brachte ich sieben Immergrünpflanzen (Vinca minor L.), von denen jede 2 dm hoch war. Sie nahmen zusammen einen Raum von 10 ccm ein; ihre Wurzeln tauchten in ein besonderes Gefäfs, welches 15 ccm Wasser enthielt. Die Menge dieser Flüssigkeit unter dem Recipienten war ungenügend, um eine merkliche Menge kohlensaures Gas zu absorbieren, besonders bei der Temperatur des Raumes, die niemals unter 17° Réaumur sank.

Dieser Apparat wurde sechs Tage hintereinander von 5—11 Uhr morgens den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt, welche stets abgeschwächt wurden, wenn sie zu intensiv waren. Am siebenten Tage nahm ich die Pflanzen heraus. Unter Berücksichtigung aller Korrekturen hatte sich das Volumen der Atmosphäre nicht verändert, wenigstens soweit man darüber bei einem Recipienten von 1,3 dm Durchmesser urteilen kann, bei dem eine Differenz von 20 ccm kaum zu schätzen ist; darüber hinaus kann aber der Fehler nicht gehen[1]).

Ein vergleichender Versuch hat mir gezeigt, dafs die sieben Immergrünpflanzen, welche ich benutzt hatte, trocken, vor der Zersetzung des kohlensauren Gases, 2,707 g wogen, und dafs sie bei der Verkohlung im geschlossenen Gefäfse 528 mg Kohle lieferten. Die Pflanzen, welche kohlensaures Gas zersetzt hatten, gaben, als sie getrocknet und nach demselben Verfahren verkohlt wurden, 649 mg Kohle. Die Zersetzung des kohlensauren Gases ergab also einen Gewinn von 120 mg Kohlenstoff. Ich liefs gleichfalls Immergrünpflanzen, welche in der von kohlensaurem Gas freien Luft gewachsen waren, verkohlen und fand, dafs sich der Anteil an Kohle während des Aufenthaltes unter dem Recipienten eher vermindert als vermehrt hatte.

Die vorstehenden Beobachtungen beweisen, dafs die Pflanzen in geschlossenen Gefäfsen kohlensaures Gas zersetzen, wenn es mit der atmosphärischen Luft in einem höheren Verhältnis gemischt ist, als es im natürlichen Zustande in ihr vorkommt.

Es ist jetzt der geeignete Augenblick nachzuforschen, ob sie

[1]) Auch aus späteren Versuchen hat sich ergeben, dafs das Gesamtvolumen einer Atmosphäre, in welcher Pflanzen assimilieren, nahezu konstant bleibt, da nach Boussingaults Untersuchungen ein dem zersetzten Kohlendioxyd annähernd gleiches Volumen Sauerstoff ausgeschieden wird, während sich der Gehalt an Stickstoff nicht verändert.



diese Zersetzung auch in freier Luft bewirken, die kaum mehr als 1/100 ihres Volumens[1]) an kohlensaurem Gas enthält. Man hat neuerdings die Ansicht zu begründen versucht, dafs die Pflanzen, welche in reinem Wasser und freier Luft wachsen, ihr Volumen allein mit Hülfe des Wassers vergröfsern, und dafs sie nach ihrer Entwicklung eine geringere Menge Kohlenstoff enthalten, als in ihren Samen. Ich stellte mehrere Versuche an, welche nur Ergebnisse geliefert haben, die dieser Ansicht gerade entgegengesetzt sind, und werde zwei Beispiele davon anführen.

1. Versuch. Ich liefs die Wurzeln mehrerer Pfefferminzen (Mentha piperita) in mit destilliertem Wasser gefüllte Flaschen tauchen und diese Pflanzen in der Sonne, vor Regen geschützt, auf einem aufserhalb eines Fensters befindlichen Blumenbrette vegetieren. Als ich einige dieser Pflanzen zu gleicher Zeit und an demselben Orte ausrifs und trocknete, überzeugte ich mich davon, dafs 100 Gewichtsteile von ihnen, welche ich in destilliertem Wasser vegetieren lassen wollte, 40,29 Teile Trockensubstanz enthielten, von denen nach der Verkohlung 10,96 Teile Kohle übrig blieben. 100 Gewichtsteile Pfefferminze wogen, nachdem sie zwei und einen halben Monat in freier Luft vegetiert hatten, grün 216 Teile. Zunächst lehrt aber diese Gewichtszunahme nichts, da sie vielleicht der Vermehrung des Vegetationswassers zuzuschreiben ist, das bei den Pflanzen stets zunimmt, wenn sie an einen feuchteren Ort verpflanzt werden. Durch das Trocknen bei Lufttemperatur gingen sie auf 62 Gewichtsteile zurück. Die Pflanzen vergröfserten also mit Hülfe von Luft und Wasser ihre Trockensubstanz um 21,71 Teile. Diese 62 Teile lieferten bei der Verkohlung 15,78 Teile Kohle oder 4,82 Teile mehr, als sie geliefert haben würden, wenn sie nicht in destilliertem Wasser vegetiert hätten.

2. Versuch. Ich that vier Bohnen, welche 6,368 g wogen, zwischen Kieselsteine in Glaskapseln und begofs sie mit destilliertem Wasser. Am Ende einer Vegetationszeit von drei Monaten unter freiem Himmel wogen die Bohnenpflanzen unmittelbar nach der Blüte grün 87,149 g. Durch das Trocknen sank das Gewicht auf 10,721 g herab, während ihres Vegetierens in freier Luft verdoppelten die Bohnen also fast die Menge ihrer Trockensubstanz[2]).

---

[1]) Die atmosphärische Luft enthält weit weniger Kohlendioxyd, als Saussure voraussetzt, nämlich 0,03—0,04 %.

[2]) Es ist hierbei noch zu berücksichtigen, dafs das Trockengewicht der Bohnen geringer als 6,368 g ist, da eine keimfähige Bohne ebenfalls Vegetationswasser enthält, wenn auch relativ erheblich weniger als die daraus entwickelte Pflanze.

Bei der Verkohlung im geschlossenen Gefäfs lieferten diese Pflanzen 2,703 g Kohle; nun gaben aber vier Bohnen von dem nämlichen Gewicht wie diejenigen, welche zu dem Versuche gedient hatten, 1,209 g Kohle. Die Bohnen hatten also um mehr als das Doppelte an Kohlenstoff zugenommen, während sie sich mit Hülfe von Wasser in freier Luft entfalteten; es kann nicht daran gezweifelt werden, dafs sie dies nur durch die Zersetzung des kohlensauren Gases, welches sie in der Atmosphäre fanden, bewirkten; denn, wie wir gesehen haben, vermehren die Pflanzen, welche unter mit reiner atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten vegetieren, ihren Kohlenstoff nicht.

---

## 36. Das Menschengeschlecht wird in fünf Rassen eingeteilt.

### Blumenbach, Über anthropologische Sammlungen und die Einteilung des Menschengeschlechts. 1806[1]).

*Johann Friedrich Blumenbach wurde 1752 in Gotha geboren, war 1776—1835 Professor der Medizin in Göttingen und starb im Jahre 1840. Blumenbach hat sich durch anthropologische Arbeiten, die ihn zur Aufstellung seiner fünf Menschenrassen führten, besondere Verdienste erworben.*

Es hält schwer zu begreifen, wie bei dem Eifer, mit dem die Naturgeschichte bearbeitet ist, doch die Naturforscher so spät erst inne geworden sind, dafs auch der Mensch ein Naturgeschöpf sei und folglich ebensowohl wie irgend ein anderes nach der Verschiedenheit seiner Rassen, seinen körperlichen Nationaleigenheiten u. s. w. behandelt zu werden verdiene. Die grofsen Naturhistoriker der letzten Jahrhunderte[2]) haben in ihren zahlreichen klassischen Werken die Geschichte aller drei Naturreiche umfafst, einzig und allein die Naturgeschichte des Menschen selbst ausgenommen. Kein Naturforscher von Beruf, sondern ein Mathematiker, Wallerius, war der erste, der endlich zu Anfang des

1) Beiträge zur Naturgeschichte von J. F. Blumenbach, erster Teil, XI und XII. Göttingen 1806.

2) Gemeint sind Gessner (1516—1565), der deutsche Plinius genannt, Aldrovandi (1522—1605) und Ray (1628—1705).



vorigen Jahrhunderts in einer für jene Zeit epochemachenden Schrift[1]) diese so lange offen gebliebene Lücke auszufüllen versucht hat. Dennoch haben noch lange Decennien die Naturaliensammler, um ihre Schränke zu füllen, immer auf alles andere eher Jagd gemacht als auf das, was zu Belegen für die Naturgeschichte des Menschengeschlechts dienen kann. Dafs die Anschaffung eines belehrenden Apparates für dieses Fach mit ungleich gröfseren Schwierigkeiten verknüpft ist, liegt freilich zu Tage. Dafs aber bei beharrlichem Eifer des Sammlers und der Mitwirkung von Männern, die Gelegenheit haben, ihm für seinen Zweck behülflich zu sein, diese Schwierigkeiten nicht unüberwindlich sind, dafür giebt der ansehnlichste Teil meiner anthropologischen Sammlung, der die Schädel fremder Völkerschaften umfafst, einen hervorragenden Beweis. Mir hat diese Sammlung unter anderem schon genützt:

1. Zur Bestimmung eines körperlichen Hauptcharakters der Humanität, den ich in dem vortretenden Kinn und der dadurch bewirkten aufrechten Stellung der unteren Vorderzähne gefunden zu haben glaube. Den Tieren kann kaum ein eigentliches Kinn im Vergleich mit dem menschlichen zugeschrieben werden, und bei Menschen, die wie man zu sagen pflegt, etwas Äffisches in ihrer Gesichtsbildung haben, liegt dies an einem starken Zurücktreten des Kinns. Die oberen Vorderzähne haben bei manchen Völkerschaften eine mehr oder weniger schräge Richtung, während die unteren bei allen mir bekannten vertikal stehen.

2. Zu einem Hauptbeweise für die Einheit des Menschengeschlechts im ganzen.

3. Zum Erweise der natürlichen Einteilung des ganzen Geschlechts in fünf Hauptrassen.

4. Zum näheren Aufschlufs über die wahrscheinliche Abstammung rätselhafter Völkerschaften, wie z. B. der alten Guanchen auf den glückseligen Inseln[2]).

5. Auch dient diese Sammlung zur Erklärung mancher physiologischen Eigentümlichkeit, wie z. B. der sehr weiten, geräumigen Windungen in der Nasenhöhle der so scharf riechenden Neger und nordamerikanischen Indianer.

---

[1]) Wallerius, De varia hominum forma externa 1705.

[2]) Die kanarischen Inseln; Guanches hiefsen die jetzt ausgestorbenen Ureinwohner derselben. Sie waren mit den heute noch Nordafrika bewohnenden Berbern eines Stammes.

6. Zum Beweise der bleibenden Verunstaltung, die manche Völker, wie namentlich die Karaïben, den Köpfen ihrer Kinder durch anhaltendes Pressen und Binden ankünsteln.

---

Nach allem, was ich durch anschauliche Kenntnis und aus Nachrichten glaubwürdiger Zeugen kennen gelernt, giebt es im Menschengeschlecht keine körperliche Verschiedenheit, wie man sie nicht auch bei anderen Gattungen, zumal unter den Haustieren, und zwar als eine unverkennbare Folge der Ausartung bemerkt. Folglich sehe ich auch nicht den mindesten Grund, warum ich, die Sache naturhistorisch betrachtet, nur irgend bezweifeln dürfte, dafs alle Völker aller bekannten Himmelsstriche zu einer und derselben gemeinschaftlichen Species gehören.

So gut man aber die Rassen der Pferde und Hühner, Nelken und Tulpen klassifiziert, ebenso füglich doch wohl auch die Spielarten, die im Menschengeschlecht aus seinem gemeinschaftlichen Stamme entstanden sind. Nur dafs, da alle auf den ersten Blick noch so auffallenden Verschiedenheiten bei näherer Betrachtung durch unmerkliche Übergänge in einander überfliefsen, keine anderen als sehr willkürliche Grenzen zwischen diesen Spielarten gezogen werden können. Zumal, wenn man dabei nicht blofs auf eine, sondern vom Standpunkte eines natürlichen Systems auf alle körperlichen Kennzeichen zugleich Rücksicht nimmt.

Soweit ich mir inzwischen die Völker der Erde bekannt zu machen gesucht habe, lassen sie sich meines Erachtens am natürlichsten unter folgende fünf Hauptrassen bringen:

1. Die Kaukasische Rasse:

Die Europäer mit Ausschlufs der Lappen und Finnen, die westlichen Asiaten und die Nordafrikaner. Mit einem Worte, ungefähr die Bewohner der den alten Griechen und Römern bekannten Welt. Sie sind von Farbe mehr oder weniger weifs mit roten Wangen und, nach europäischen Begriffen, an Schönheit der Gesichts- und Schädelform die wohlgebildetsten Menschen.

2. Die Mongolische Rasse:

Die übrigen Asiaten mit Ausnahme der Malayen nebst den Lappen in Europa und den Eskimos im nördlichsten Amerika. Sie sind meist weizengelb mit spärlichem, straffem, schwarzem Haar, haben platte Gesichter mit hervortretenden Backenknochen und enggeschlitzte Augen.

3. Die Äthiopische Rasse:

Die übrigen Afrikaner; mehr oder weniger schwarz, mit meist krausem Haar, vorstehenden Lippen, wulstigen Kiefern und stumpfer Nase.

4. Die Amerikanische Rasse:

Die übrigen Amerikaner; meist lohbraun oder wie angelaufenes Kupfer, mit straffem, schlichtem Haar und breitem, aber dabei nicht platten Gesicht, sondern stark ausgeprägten Zügen.

5. Die Malayische Rasse:

Die Südseeinsulaner oder die Bewohner des fünften Weltteils mit Inbegriff der eigentlichen Malayen. Sie sind meist von brauner Farbe (vom hellen Mahagoni bis ins dunkelste Kastanienbraun), mit dichtem, schwarzlockigem Haarwuchs, breiter Nase und grofsem Mund.

Jede dieser fünf Hauptrassen begreift übrigens wieder ein und das andere Volk in sich, welches durch seine Körperbildung sich mehr oder weniger vor den übrigen derselben Abteilung auszeichnet. So könnten z. B. die Hindus von der Kaukasischen, die Chinesen und Japaner von der Mongolischen, die Hottentotten von der Äthiopischen Rasse, sowie die Nordamerikaner von den Bewohnern Südamerikas und die schwarzen Papuas von den braunen Insulanern des stillen Ozeans als eigene Unterarten abgesondert werden.

---

# 37. Cuvier begründet durch Verschmelzung der Zoologie mit der vergleichenden Anatomie ein natürliches System. 1812.

## Über eine neue Anordnung der Klassen, welche das Tierreich zusammensetzen. Von M. G. Cuvier[1]).

*Georges Cuvier wurde am 24. August 1769 in der damals würtembergischen Stadt Mömpelgard geboren und auf der Karls-*

[1]) Die in dieser berühmt gewordenen Abhandlung Cuviers aufgestellte Einteilung der Tiere nach ihrer gesamten Organisation bezeichnet den bedeutendsten Fortschritt der Zoologie seit den Zeiten des Aristoteles. Der Titel lautet: „Sur un nouveau rapprochement à établir entre les classes, qui composent le règne animal". Annales du Muséum d'histoire naturelle. Tom XIX. 1812. pag. 73 ff. Mit geringen Kürzungen übersetzt von F. Dannemann.

*schule vorgebildet. 1788—1794 bekleidete er eine Hauslehrerstelle in der Normandie. Die Nähe des Meeres regte ihn zu anatomischen Untersuchungen und zum Vergleich der lebenden mit den fossilen Arten an. 1802 wurde Cuvier Professor der vergleichenden Anatomie und später Pair von Frankreich. Cuvier starb am 13. Mai 1832. Zur Erklärung der geologischen Zeitalter mit dem wechselnden Charakter ihrer Tier- und Pflanzenwelt nahm Cuvier eine Folge grofser Umwälzungen an, denen jedesmal eine Neuschöpfung gefolgt sei. Siehe* ***43***.

Es ist bekannt, dafs Linné unter dem Namen „Würmer“ aufserordentlich zahlreiche und verschiedengestaltige Tiere beisammen liefs, für welche es unmöglich war, irgend ein gemeinsames Kennzeichen anzugeben. Während ich an meinen ersten Abhandlungen zur vergleichenden Anatomie arbeitete, befand ich mich der Unmöglichkeit gegenüber, irgend etwas allgemein Zutreffendes zu sagen, sei es über das Nervensystem der „Würmer“, sei es über ihren Blutkreislauf, ihre Atmungs-, Fortpflanzungs- oder selbst über ihre Verdauungsorgane. Dadurch wurde mir denn klar, dafs diese Klasse nicht gleich den übrigen auf positive Merkmale gegründet sei.

Ich machte deshalb in einer Mitteilung der Société d'histoire naturelle im Monat Floréal des Jahres 3 (Mai 1795) den Vorschlag, die „Würmer“ in vier Klassen zu teilen, welche auf ebenso deutliche Verschiedenheiten gegründet waren wie diejenigen, welche die Klassen der Wirbeltiere von einander trennen. Da ferner die Krebstiere, welche Linné zu den Insekten gerechnet hatte, von den letzteren, wie mir schien, stark abwichen, schlug ich vor, sie von diesen zu trennen. Diese Änderungen wurden nach und nach allgemein angenommen. Lamarck[1]) hat darauf meinen Klassen noch zwei andere hinzugefügt, nämlich diejenigen der Spinnentiere und der Radiärtiere; und dies scheint mir die Einteilung zu sein, der man heute in fast ganz Europa folgt. Bei dieser Anordnung werden die vier ersten Klassen unter dem Namen der Wirbeltiere, den ihnen Lamarck mit vollem Recht beigelegt hat, den nachfolgenden als Wirbellose bezeichneten Klassen gegenübergestellt.

---

[1]) **Jean Lamarck, 1744 in der Picardie geboren, verdienter Botaniker und Zoologe; von ihm rührt die Einteilung des Tierreichs in Wirbeltiere und Wirbellose her, auch stellte er Betrachtungen über die Entstehung der Arten an, für welche er, im Gegensatz zu dem damals herrschenden Dogma von der Konstanz der Arten, eine allmähliche Umbildung annahm. Lamarck starb 1829.**



Nun gelangt man, was die Wirbeltiere anbetrifft, leicht zu einer grofsen Anzahl von Zügen, die allen vier Klassen derselben gemeinsam und folglich von einer höheren Ordnung sind als diejenigen, welche jeder Klasse im besonderen zukommen. Mit anderen Worten, diese vier Klassen sind gewissermafsen nach demselben Plane gebaut.

Für die wirbellosen Tiere gilt nun nicht dasselbe. Welches von ihren Organsystemen man auch beschreiben will, man ist gezwungen, fast ebensoviele Schemata zu entwerfen, als es Klassen giebt. Ich habe mich dieser Unzuträglichkeit während des ganzen Verlaufs meiner Vorträge über vergleichende Anatomie gegenüber befunden. Jedesmal, wenn ich die Gesetze, welche die Organisation der Wirbeltiere beherrschen, in grofsen Zügen gezeichnet hatte, verfiel ich in Einzelheiten, sobald ich von den wirbellosen Tieren sprechen wollte, die man immer den vorigen gegenüberstellt und sozusagen als die andere Hälfte des Tierreichs betrachtet.

Endlich habe ich die Ursache dieses Übelstandes und zugleich die Abhülfe dafür gefunden. Es lag daran, dafs ich, allzusehr am älteren Gebrauche hängend, Gruppen von sehr verschiedener Ordnung als Klassen bezeichnet hatte und meine Klasse der Weichtiere zum Beispiel, was die Wichtigkeit ihrer Hauptmerkmale und die Verschiedenheit der zu ihr gehörigen Lebewesen anbelangt, der gesamten Reihe der Wirbeltiere fast gleichwertig war. Ich hätte daher entweder sämtliche Wirbeltiere in eine einzige Klasse zusammenstellen oder die Weichtiere gleichfalls in mehrere Klassen einteilen müssen. Indem ich das Tierreich unter diesem neuen Gesichtspunkte betrachtete und Rücksicht auf die Tiere selbst nahm und nicht auf ihre Gröfse, ihren Nutzen und andere Nebenumstände, fand ich, dafs es vier Grundformen, vier Hauptpläne giebt, nach denen sämtliche Tiere gebaut zu sein scheinen. Die Unterabteilungen, welche Namen ihnen die Naturforscher auch beigelegt haben mögen, würden danach nur auf geringe Abänderungen, bedingt durch die Entwicklung oder das Hinzutreten gewisser Teile, hinauslaufen, aber gar nichts an den Grundzügen des Planes ändern.

Indem ich nun über die wichtigsten Organe nachdachte, welche diese Ähnlichkeit innerhalb einer vielgestaltigen Tiergruppe bestimmt haben, fand ich sogleich eine befriedigende Erklärung für diese Ähnlichkeit. Das Nervensystem bleibt dasselbe innerhalb jeder dieser vier Grundformen. Nun ist das Nervensystem im

Grunde das ganze Tier; die anderen Organsysteme haben nur die Aufgabe, sich in seinen Dienst zu stellen und es zu unterhalten. Es ist daher nicht zu verwundern, dafs sie sich in Bezug auf das Nervensystem anordnen.

Der erste dieser vier Hauptzweige oder Kreise ist jedem unter dem Namen der Wirbeltiere bekannt. Sie allein besitzen ein Rückenmark, von dessen Seiten die Nerven auslaufen und dessen vorderes Ende sich zum Gehirn entwickelt. Ein Kanal aus knöchernen oder knorpeligen Wirbeln umschliefst diesen Hauptstamm des Nervensystems; selbst das Neunauge, dessen Wirbelsäule so weich ist, zeigt an derselben deutliche Ringe. Das Gehirn wird immer von einem Schädel eingeschlossen. Es sind fünf Sinnesorgane vorhanden, sowie zwei Kiefer in horizontaler Lage. Die Wirbeltiere haben ferner rotes Blut, ein muskulöses Herz, Leber, Milz und Nieren. Je mehr man ihren Bau untersucht, um so mehr Ähnlichkeiten entdeckt man. Jedermann weifs, dafs dieser Kreis in vier Klassen zerfällt, und zwar nach der Beschaffenheit der Kreislauf- und Atmungsorgane, mit welchen die Energie und Art der Bewegung zusammenhängt.

Mein zweiter Kreis umfafst die Weichtiere. Sie besitzen ein Gehirn, aber kein Rückenmark; ersteres sendet nur Nervenstränge aus, die sich zu zerstreuten Nervenknoten vereinigen. Dementsprechend besitzen sie weder eine Wirbelsäule, noch sonstige Skeletbildungen. Ihre Muskeln heften sich an verschiedenen Stellen ihrer Haut an, und ihre sämtlichen Bewegungen beruhen auf Kontraktionen, die in verschiedenem Sinne erfolgen, etwa wie diejenigen unserer Zunge. Ihre Hartteile, wenn sie deren besitzen, entstehen an der Oberfläche ihrer Haut. Sie haben keine erkennbaren Geruchsorgane; Augen fehlen ihnen oft. Endlich besitzen sie ein Cirkulationssystem, besondere Atmungsorgane und eine Leber.

Die Klassen dieses Kreises, die ich früher als ebensoviele Ordnungen aufgestellt hatte, sind unter den Namen der Cephalopoden[1]), der Gastropoden[2]), der Pteropoden[3]) und der Acephalen[4]) bekannt.

---

1) Kopffüfser oder Tintenfische.

2) Bauchfüfser oder Schnecken.

3) Flossenfüfser oder Ruderschnecken, eine kleine Gruppe im Meere lebender Weichtiere; meist von geringer Körpergröfse, aber in ungeheuren Scharen auftretend.

4) Hierhin gehören vorzugsweise die Muscheltiere.

Der dritte Kreis, der sich vom zweiten ebenso deutlich unterscheidet wie der zweite vom ersten, möge den Namen „Gliedertiere“ erhalten. Ihr Körper ist in der That äufserlich ebenso gegliedert wie ihr gesamtes Nervensystem im Innern. Ein kleines über dem Schlunde befindliches Gehirn sendet zwei Nervenstränge aus, welche an der Bauchseite entlang laufen und von Strecke zu Strecke durch Knoten verbunden werden, die als ebensoviele kleine Gehirne erscheinen und sämtliche Nerven aussenden.

Die Muskeln sind im Innern der Körperringe angebracht und zwar dergestalt, dafs sie dieselben von einander entfernen und einander wieder nähern. Das Teilungsvermögen des Körpers und die Leichtigkeit, mit welcher die Bruchstücke ihre Lebensfähigkeit erhalten, entspricht dieser Verteilung des Nervensystems auf soviel kleine Centren als Ringe vorhanden sind. Dieser Kreis weist bezüglich der vitalen Organe noch gröfsere Unterschiede auf, als diejenigen, welche sich bei den Wirbeltieren vorfanden und dort so scharf geschiedene Klassen ermöglichten. Er zerfällt in die Gliederwürmer, die Krebstiere, die Spinnentiere und die Insekten. In diesem Kreise läfst sich auch der Übergang von Tieren mit Cirkulation zu solchen ohne Cirkulation beobachten, sowie der entsprechende Übergang zwischen Tieren, welche mittelst scharf begrenzter Kiemen atmen, zu solchen, bei denen Tracheen die Luft den sämtlichen Teilen des Körpers zuführen.

Die vermehrte Atmung ruft in letzterem Falle dieselben Wirkungen hervor wie bei den Wirbeltieren, und die Insekten vertreten gewifsermafsen die Vögel im Kreise der Gliedertiere.

In unserem vierten und letzten Kreise spricht sich die Gesetzmäfsigkeit in einem ganz neuen Bauplane aus, welcher an die häufigsten Formen des Pflanzenreichs erinnert. Aus diesem Grunde haben verschiedene Naturforscher einen Teil dieses Kreises als Pflanzentiere bezeichnet, und ich habe diesen Namen auf alle Tiere desselben ausgedehnt. Man könnte sie auch Radiärtiere nennen, da ihre Organe fast immer um einen Mittelpunkt angeordnet sind wie die Radien eines Kreises. Jedermann denkt bei diesem Worte an die Seesterne, Quallen, Seerosen, sowie an die unzähligen Polypen, welche teils nackt sind, teils Korallenbauten aufführen. Hierhin gehören aber auch Tiere, deren strahliger Bau zwar nicht so in die Augen fällt, aber dennoch vorhanden ist, wie die Holothurien (Seewalzen). Die mehr oder minder grofse Zusammengesetztheit im Bau der Radiärtiere ermöglicht ebenfalls, sie in Klassen einzuteilen, deren Unterschiede fast von derselben

Bedeutung sind, wie diejenigen, die wir bei dem Kreise der Gliedertiere angetroffen haben. Die Infusorien gehören auch zu diesem Kreise[1]). Falls hierher gehörige Tiere ein deutliches Nervensystem besitzen, so ist es gleichfalls strahlig gebaut; in den meisten Fällen entdeckt man aber nichts, was an Nerven erinnert, und man mufs annehmen, dafs die Nervensubstanz dieser Tiere, wenn sie überhaupt eine solche besitzen, in ihrer gesamten übrigen Körpermasse verteilt ist.

Überhaupt bemerkt man, dafs innerhalb dieses Kreises ein Verschwinden und eine allmähliche Verschmelzung sämtlicher Organe zu einer gleichartigen Masse eintritt. Die Stachelhäuter besitzen noch ein geschlossenes Gefäfssystem und deutliche Atmungswerkzeuge. Bei den Infusorien dagegen bildet der ganze Körper nur noch eine gleichartige Masse.

Diese neue Einteilung des Tierreichs läfst sich also zum Schlufs in folgende Worte zusammenfassen: Sämtliche Wirbeltiere und sämtliche Gliedertiere bilden je eine Gruppe. Diesen beiden Gruppen entsprechen als gleichwertig diejenigen der Weichtiere und der Radiärtiere.

Man sollte nicht glauben, in welchem Grade diese scheinbar so geringfügige Änderung dem Lehrgebäude der vergleichenden Anatomie Übersichtlichkeit und Klarheit verleiht. Ich habe diese Erfahrung seit mehreren Jahren gemacht und bin so dazu geführt worden, diese Einteilung dem Werke zu Grunde zu legen, welches ich demnächst über das Tierreich[2]) zu veröffentlichen gedenke und das als Einleitung in mein grofses Lehrbuch der vergleichenden Anatomie dienen soll.

Folgendes ist also die Übersicht:

I. Kreis. Animaux vertébrés, Wirbeltiere.

1. Klasse Mammifères, Säugetiere.
2. „ Oiseaux, Vögel.
3. „ Reptiles, Reptilien[3]).
4. „ Poissons, Fische.

---

[1]) Die Infusorien werden heute mit den übrigen einzelligen Tieren zum Kreise der Protozoen oder Urtiere zusammengefafst.

[2]) Cuvier, Règne animal. 1817. Übersetzt von Voigt 1831.

[3]) Diese Klasse zerfällt heute in die beiden Klassen der Reptilien und Amphibien.

II. Kreis. Animaux mollusques, Weichtiere.

1. Klasse Céphalopodes, Kopffüſser.
2. „ Gastéropodes, Bauchfüſser.
3. „ Ptéropodes, Flossenfüſser.
4. „ Acéphales, Kopflose.

III. Kreis. Animaux articulés, Gliedertiere.

1. Klasse Annélides, Ringelwürmer.
2. „ Crustacés, Krebstiere.
3. „ Arachnides, Spinnen.
4. „ Insectes, Insekten.

IV. Kreis. Animaux rayonnés, Radiärtiere.

1. Klasse Échinodermes, Stachelhäuter.
2. „ Intestins, Eingeweidewürmer.
3. „ Polypes, Pflanzentiere.
4. „ Infusoires, Aufguſstiere[1]).

## 38. Die Aufstellung der atomistischen Hypothese. 1808.

### Dalton, Ein neues System der chemischen Wissenschaft, 1. Teil, 1. und 2. Kapitel[2]).

*John Dalton, 1766 als Sohn eines armen englischen Webers geboren, wurde 1793 Lehrer der Mathematik und Physik an einem College in Manchester, woselbst er 1844 starb. Die Untersuchung*

1) Cuviers Einteilung bildet noch heute die Grundlage des natürlichen Systems, doch ist die Zahl der Kreise auf 7 vermehrt worden. Zuerst wurde durch Abtrennung der Infusorien von den Radiärtieren der Kreis der Urtiere oder Protozoen gebildet, sodann wurden die Echinodermen, welche einen Darm besitzen, als besonderer Kreis den darmlosen Radiärtieren (Korallen, Seerosen etc.) gegenübergestellt, endlich die Ringelwürmer mit den Eingeweidewürmern und niederen Formen zum Kreise der Würmer vereinigt. Auſserdem gestattet uns die Entdeckung zahlreicher Verbindungsglieder zwischen den einzelnen Typen, das gesamte Tierreich als eine Einheit im höchsten Sinne zu betrachten.

2) Nach Ostwalds „Klassiker der exakten Wissenschaften", Nr. 3. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1889. Der Originaltitel des dreibändigen Werkes lautet: A new system of chemical philosophy by John Dalton 1808—1827. Eine deutsche Übersetzung der ersten beiden Bände wurde 1812 von Fr. Wolf herausgegeben.

*der Oxyde des Stickstoffs führte ihn zur Entdeckung des Gesetzes von den multiplen Proportionen; die Erklärung dieses Gesetzes, sowie desjenigen von der Konstanz der Gewichtsverhältnisse gelang Dalton durch Aufstellung seiner atomistischen Hypothese, welche seitdem die Grundlage aller naturwissenschaftlichen Betrachtung bildet.*

Es giebt drei Unterschiede in der Art der Körper oder drei Zustände, welche in höherem Grade die Aufmerksamkeit der Naturforscher beansprucht haben, nämlich diejenigen, welche mit den Namen der elastisch-flüssigen, flüssigen und festen Körper bezeichnet werden. Ein sehr bekanntes Beispiel bietet uns das Wasser als ein Stoff, welcher unter bestimmten Umständen alle drei Zustände annehmen kann. Im Dampfe erkennen wir einen vollkommen elastisch-flüssigen, im Wasser einen vollkommen flüssigen und im Eis einen vollkommen festen Stoff. Diese Beobachtungen haben stillschweigend zu dem allgemein angenommenen Schlufs geführt, dafs alle Körper aus einer ungeheuren Anzahl von äufserst kleinen Teilchen bestehen, welche mit einander durch eine je nach den Umständen stärkere oder schwächere Anziehungskraft verbunden sind.

Ob die letzten Teilchen eines Stoffes wie Wasser alle gleich sind, d. h. von derselben Gestalt, demselben Gewicht etc., ist eine Frage von einiger Wichtigkeit. Aus dem, was wir wissen, haben wir keinen Grund, eine Verschiedenheit dieser Teile zu vermuten; bestände eine solche im Wasser, so müfste sie gleicherweise in den Elementen, welche das Wasser bilden, nämlich im Wasserstoff und Sauerstoff, bestehen. Wären einige Wasserteilchen leichter als andere, und würde ein Teil der Flüssigkeit bei irgend einer Gelegenheit von solchen leichteren Teilchen gebildet, so müfsten sie das specifische Gewicht des Wassers beeinflussen, ein Umstand, der nicht bekannt ist. Ähnliche Bemerkungen können über jeden anderen Stoff gemacht werden; wir können daher schliefsen, dafs die letzten Teilchen aller homogenen Stoffe völlig gleich in Gewicht, Gestalt etc. sind. Mit anderen Worten, jedes Teilchen Wasser ist gleich jedem anderen, jedes Atom Wasserstoff ist gleich jedem anderen Atom Wasserstoff u. s. w.

Wenn ein Stoff sich im elastisch-flüssigen Zustande befindet, so sind seine Teilchen von einander auf eine weit gröfsere Entfernung getrennt, als in irgend einem anderen Zustande; jedes Teilchen nimmt den Mittelpunkt einer verhältnismäfsig grofsen Kugel ein und behauptet seine Stellung, indem es alles andere, was dieselbe zu beeinflussen sucht, in respektvoller Entfernung

hält. Versuchen wir die Zahl der Atome in der Atmosphäre zu begreifen, so wäre das eine Aufgabe, wie diejenige, die Zahl der Sterne im Weltall zu zählen; der Gedanke verwirrt uns. Aber wenn wir den Gegenstand begrenzen und ein gegebenes Volumen irgend eines Gases nehmen, so halten wir uns überzeugt, dafs die Zahl der Teilchen endlich sein mufs, ebenso wie in einem gegebenen Teile des Weltalls die Zahl der Sterne und Planeten nicht unbegrenzt sein kann.

Die chemische Synthese und Analyse geht nicht weiter als bis zur Trennung der Atome und ihrer Wiedervereinigung. Keine Neuerschaffung oder Zerstörung des Stoffes liegt im Bereiche chemischer Wirkung. Wir können ebensowohl versuchen, einen neuen Planeten dem Sonnensystem einzuverleiben oder einen vorhandenen zu vernichten, als ein Atom Wasserstoff zu erschaffen oder zu zerstören. Alle Änderungen, welche wir hervorbringen können, bestehen in der Trennung von Atomen, welche vorher verbunden und in der Vereinigung solcher, welche vorher getrennt waren.

Bei allen chemischen Untersuchungen hat man es mit Recht für eine wichtige Aufgabe gehalten, das relative Gewicht der einfachen Stoffe zu bestimmen, welche einen zusammengesetzten bilden. Leider hat die Untersuchung hier aufgehört, während doch aus dem relativen Gewicht der Massen das relative Gewicht der letzten Teilchen oder Atome der Stoffe hätte abgeleitet werden können, woraus sich ihre Anzahl und ihr Gewicht in vielen anderen Verbindungen ergeben hätten. Nun ist es einer der grofsen Gegenstände dieses Werkes zu zeigen, wie wichtig und vorteilhaft es sei, die relativen Gewichte der letzten Teilchen sowohl der einfachen wie der zusammengesetzten Stoffe auszumitteln, sowie die Zahl der einfachen Elementaratome, welche ein zusammengesetztes Teilchen bilden, zu bestimmen.

Seien A und B zwei Stoffe, welche sich zu verbinden vermögen, so findet folgende Ordnung statt, nach welcher die Verbindung stattfinden kann:

1 Atom von A + 1 Atom von B = 1 Teilchen von C, binär,
1 Atom von A + 2 Atome von B = 1 Teilchen von D, ternär,
2 Atome von A + 1 Atom von B = 1 Teilchen von E, ternär,
1 Atom von A + 3 Atome von B = 1 Teilchen von F, quaternär[1])
3 Atome von A + 1 Atom von B = 1 Teilchen von G, quaternär
und so weiter.

[1]) Die Ausdrücke binär, ternär, quaternär werden in der heutigen Chemie für Verbindungen aus je zwei, je drei oder je vier Elementen gebraucht, ohne Rücksicht auf die Anzahl der Atome, welche eine solche Verbindung zusammensetzen.

Die folgenden allgemeinen Regeln mögen als Führer bei allen unseren Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung angenommen werden:

1. Wenn nur eine Verbindung zweier Stoffe erhalten werden kann, so mufs vermutet werden, dafs sie eine binäre ist, wenn nicht ein Grund für das Gegenteil spricht.

2. Werden zwei Verbindungen beobachtet, so können wir erwarten, dafs die eine binär, die andere ternär ist.

3. Werden drei Verbindungen erhalten, so ist die eine als binär, die beiden anderen als ternär anzusehen u. s. w.

Aus der Anwendung dieser Regeln auf die bereits festgestellten chemischen Thatsachen ziehen wir folgende Schlüsse: 1. dafs das Wasser eine binäre Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff ist, und dafs das Gewichtsverhältnis der beiden elementaren Atome annähernd 1:7 ist; 2. dafs Kohlenoxyd eine binäre Verbindung, bestehend aus einem Atom Sauerstoff und einem Atom Kohlenstoff ist; 3. dafs Kohlensäure eine ternäre Verbindung aus einem Atom Kohlenstoff und zwei Atomen Sauerstoff ist u. s. w.[1]). Wegen der Neuheit sowohl als der Wichtigkeit der in diesem Kapitel vorgetragenen Ideen schien es förderlich, Tafeln aufzustellen, welche die Art der Verbindung in mehreren der einfacheren Fälle angeben. Eine Probe ist diesem ersten Teile beigelegt. Die Elemente oder die Atome solcher Stoffe, welche wir gegenwärtig als einfach ansehen, sind durch kleine Kreise mit einem Unterscheidungsmerkmal bezeichnet, und die Verbindungen durch die Nebeneinanderstellung zweier oder mehrerer derselben. Es ist nicht so zu verstehen, als ob alle Dinge, welche als einfache Stoffe bezeichnet sind, es notwendigerweise sein müssen; sie müssen nur notwendig die angegebenen Gewichte haben. Für Natron und Kali ergeben sich aus ihren Verbindungen mit Säuren die Zahlen 28 und 42; nach Davy's sehr

[1]) Wasserstoff und Sauerstoff setzen das Wasser im Verhältnis 1 : 8, nicht 1 : 7 zusammen; nach heutiger Auffassung besteht das Wasser aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff. Die atomistische Zusammensetzung von Kohlenoxyd und Kohlensäure ($CO$ und $CO_2$) hat Dalton richtig angegeben. Für die Bestimmung der relativen Atomgewichte sind die Ergebnisse der Gewichtsanalyse, auf welche Dalton obige Regeln gründet, nicht mehr allein mafsgebend (siehe Avogadros Hypothese und das Gesetz von Dulong und Petit in Bd. II).

wichtigen Entdeckungen sind sie aber Metalloxyde[1]). Ersteres mufs daher als bestehend aus einem Atom Metall (21) und einem Atom Sauerstoff (7) angesehen werden, letzteres gleichfalls aus einem Atom Metall (35) und einem Atom Sauerstoff (7). Oder Natron enthält 75% Metall und 25% Sauerstoff, Kali enthält 83,3% Metall und 16,7% Sauerstoff[2]).

---

## 39. Berzelius bestimmt die Gewichtsverhältnisse; nach denen chemische Verbindungen vor sich gehen und bestätigt Daltons Gesetz von den multiplen Proportionen.

**Berzelius, Versuch die bestimmten und einfachen Verhältnisse aufzufinden, nach welchen die Bestandteile der unorganischen Natur miteinander verbunden sind. 1811[3]).**

*Johann Jakob Berzelius wurde am 29. August 1779 in Schweden als Sohn eines Lehrers geboren, studierte in Upsala Medizin und wurde 1807 Professor der Medizin und Pharmacie in Stockholm, woselbst er am 7. August 1848 starb. Berzelius erblickte in der genauen Feststellung der Atomgewichte seine Lebensaufgabe, bei deren Lösung er die analytische Chemie mit einer Fülle neuer*

---

1) Siehe 42.

2) Dalton bezeichnete z. B. Wasserstoff durch ⊙, Sauerstoff durch ○, Schwefel durch ⊕; Schwefelsäureanhydrid bekam das Symbol ⊕ (mit drei ○), da jedes seiner Teilchen aus einem Atom Schwefel und drei Atomen Sauerstoff zusammengesetzt ist. Die heutige Bezeichnungsweise, Wasserstoff = H, Sauerstoff = O, Schwefel = S, Schwefelsäureanhydrid = $SO_3$ rührt von Berzelius her.

Die von Dalton ermittelten Atomgewichte waren noch sehr ungenau, sodafs sämtliche im letzten Abschnitt enthaltenen Werte von der Wahrheit stark abweichen.

| Atomgewicht von | nach Dalton | richtiger Wert |
|---|---|---|
| Sauerstoff . . . . . | 7 | 8 |
| Natrium . . . . . . | 21 | 23 |
| Kalium . . . . . . | 35 | 39 |
| Silber . . . . . . . | 100 | 108 |

3) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 35. Herausgegeben von W. Ostwald. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1892.

*Methoden und Entdeckungen bereicherte. Auch um die chemische Erforschung der Mineralien hat Berzelius sich grofse Verdienste erworben; er ordnete die Mineralien nach ihrer Zusammensetzung an und schuf durch Einführung der Symbole unsere heutige chemische Zeichensprache.*

Das Blei bildet, wie bekannt, drei Oxyde. Um den Sauerstoffgehalt derselben zu bestimmen, reduzierte ich Blei aus krystallisiertem salpetersauren Blei, wobei ich es frei von Silber und Kupfer erhielt.

### A) Gelbes Bleioxyd (Bleiglätte).

1. 10 g Blei wurden in reiner Salpetersäure und zwar, um das Umherspritzen zu verhindern, in einem geneigten gläsernen Kolben aufgelöst [1]). Die Lösung gofs ich in einen abgewogenen Platintiegel, dunstete sie behutsam ab und setzte sie der Glühhitze aus; sie gab 10,77 g Bleioxyd.

2. Der Versuch wurde mit der Abwechslung wiederholt, dafs das Abdunsten und Glühen in dem Kolben selbst geschah. Resultat 10,775 g Bleioxyd [2]).

3. Der Versuch wurde zum dritten Male und zwar in einem langhalsigen gläsernen Kolben angestellt. Als sich das Salz zu zerlegen begann, setzte sich an dem Halse etwas mehliges Sublimat ab. Nachdem der Kolben in seiner ganzen Länge geglüht war, betrug das Gewicht des oxydierten Bleies 10,78 g, also etwas mehr als bei den vorigen Versuchen; zugleich hatte sich bei diesem Versuche eine Erscheinung gezeigt, die zu erkennen gab, dafs ein geringer Teil des Bleioxyds durch die Säuredämpfe mit fortgerissen wird.

4. 10 g Blei wurden in Salpetersäure aufgelöst, daraus mit kohlensaurem Ammoniak niedergeschlagen und der Niederschlag auf ein gewogenes Filter gebracht und gut ausgelaugt. Er betrug 12,9025 kohlensaures Blei [3]). Es wurden davon 12,77 g in einem gewogenen Platintiegel geglüht [4]); der Rückstand war 10,64 g

[1]) Es bildet sich salpetersaures Blei, dessen Zusammensetzung durch die Formel $Pb(NO_3)_2$ wiedergegeben wird.

[2]) Das salpetersaure Blei zerfällt beim Erhitzen in Bleioxyd, Sauerstoff und Stickstofftetroxyd: $Pb(NO_3)_2 = PbO + N_2O_4 + O$.

[3]) Die Ausfällung des Bleis mittelst kohlensaurem Ammoniak geht nach folgender Gleichung vor sich: $Pb(NO_3)_2 + (NH_4)_2CO_3 = PbCO_3 + 2NH_4NO_3$.

[4]) Dabei zerfällt kohlensaures Blei in Bleioxyd und Kohlendioxyd: $PbCO_3 = PbO + CO_2$.

gelbes Bleioxyd, was für die ganze Masse 10,75 g giebt, oder 100 Teile Blei hatten 7,5 Teile Sauerstoff aufgenommen. Ich schöpfte Verdacht, das kohlensaure Ammoniak möchte den Bleigehalt nicht völlig niedergeschlagen haben, daher leitete ich nun Schwefelwasserstoffgas durch das Filtrat; dasselbe trübte sich aber dadurch nicht im geringsten[1]).

5. Der Versuch wurde mit 8 g Blei wiederholt und gab 10,32 g kohlensaures Blei und daraus 8,6 g gelbes Bleioxyd; es hatten also wiederum 100 Teile Blei 7,5 Teile Sauerstoff aufgenommen.

Gelbes Bleioxyd ist also zusammengesetzt aus:

| | in hundert Teilen | auf hundert Teile |
|---|---|---|
| Blei | 92,764 | 100,0 |
| Sauerstoff | 7,236 | 7,8 |
| | 100,000 | 107,8 |

B) Rotes Bleioxyd (Mennige).

Die Mennige, wie sie im Handel vorkommt, habe ich durch schwefelsaures Blei, basisch salzsaures Blei, Kupferoxyd und Kieselerde verunreinigt gefunden. Dieses macht die Analyse der Mennige weniger zuverläfsig. Sie enthält aufserdem auch sehr viel gelbes Bleioxyd, wodurch sie eine lebhaftere Farbe annimmt als diesem Oxydationsgrade eigentlich zukommt.

Um das gelbe Oxyd wegzuschaffen, digerierte ich feingeriebene Mennige mit schwachem destillierten Essig bei einer Temperatur von 20°, so lange der Essig sich mit derselben noch sättigte. Dadurch wurde das gelbe Oxyd aufgelöst, ohne dafs die schwache Säure auf das rote Oxyd einwirkte, welches nur eine tiefere Röte annahm. Nach geschehenem Waschen und Trocknen bei sehr starker Hitze wurden 10 g dieser Mennige in einem gewogenen Platintiegel geglüht[2]); sie verloren 0,29 g an Gewicht. Das rückständige gelbe Oxyd wurde in Essig aufgelöst; schwefelsaures Blei und Kieselerde, die ungelöst zurückblieben, wogen geglüht 0,135 g. Der essigsauren Auflösung wurde salpetersaures Silber

---

[1]) Enthält eine Flüssigkeit Blei in Lösung, so bildet sich beim Einleiten von Schwefelwasserstoff eine schwarzbraune Trübung, die von Schwefelblei herrührt: $Pb(NO_3)_2 + H_2S = PbS + 2HNO_3$.

[2]) Die Mennige verwandelt sich beim Glühen unter Abgabe von Sauerstoff in Oxyd: $Pb_3O_4 = 3PbO + O$.

zugesetzt, und es schlug sich 0,01 g Chlorsilber aus ihr nieder[1]). Dies ergiebt einen Gehalt von 0,03 g basisch salzsaurem Blei; zusammengerechnet also 0,165 g, die nicht rotes Bleioxyd waren. Es hatten also 9,835 g Mennige 0,29 Sauerstoff gegeben und 9,545 g gelbes Oxyd oder 8,885 g Blei enthalten. Diese letzteren waren in der Mennige mit 0,98 g[2]) Sauerstoff vereinigt gewesen.

Es nehmen also 100 Teile Blei, um Mennige zu werden, 11,07 Teile Sauerstoff auf.

### C) Braunes Bleioxyd.

Die mit Salpetersäure digerierte Mennige giebt, wie bekannt, ein braunes Bleioxyd[3]). Indem die Salpetersäure das gelbe Oxyd auflöst, läfst sie nebst dem braunen Oxyd eine verhältnismäfsig um so gröfsere Menge fremder Stoffe, besonders schwefelsaures Blei und Kieselerde, unaufgelöst zurück.

Fünf Gramm braunes Bleioxyd, welches durch Auswaschen von allem anhängenden salpetersauren Blei befreit und getrocknet waren, wurden in einem gewogenen Platintiegel geglüht und verloren dadurch 0,325 g Sauerstoff. Die rückständigen 4,675 g gelbes Oxyd[4]), in Essig aufgelöst, hinterliefsen schwefelsaures Blei und Kieselerde, die geglüht 0,13 g wogen. Die übrigen 4,545 g[5]) gelbes Oxyd enthalten 0,33 g Sauerstoff oder bis auf 0,005 g das nämliche, was das braune Oxyd durch Glühen verloren hatte. Es nehmen also 100 Teile Blei, um sich in braunes Oxyd zu verwandeln, doppelt so viel Sauerstoff auf, als sich im gelben Bleioxyde befindet, und das braune Bleioxyd besteht aus:

| | in hundert Teilen | auf hundert Teile |
|---|---|---|
| Blei | 86,51 | 100,0 |
| Sauerstoff | 13,49 | 15,6 |
| | 100,00 | 115,6 |

[1]) Der Chlorgehalt einer Flüssigkeit wird durch Ausfällen des Chlors mittelst salpetersaurem Silber bestimmt; es bildet sich unlösliches Chlorsilber: $PbCl_2 + 2AgNO_3 = 2AgCl + Pb(NO_3)_2$.

[2]) 9,835 g — 8,855 g = 0,98 g.

[3]) Das braune Oxyd oder Bleisuperoxyd ist nach der Formel $PbO_2$ zusammengesetzt; es bildet sich durch Behandeln der Mennige mit Salpetersäure: $Pb_3O_4 + 4HNO_3 = 2Pb(NO_3)_2 + PbO_2 + 2H_2O$. Die Mennige läfst sich als eine Verbindung von Bleioxyd und Bleisuperoxyd auffassen: $Pb_3O_4 = 2PbO.PbO_2$.

[4]) Das Superoxyd zerfällt beim Glühen in gelbes Oxyd und Sauerstoff: $PbO_2 = PbO + O$.

[5]) 4,675 g — 0,13 g = 4,545 g.

Aus diesen Versuchen folgt, dafs das Blei in seinen drei verschiedenen Oxydationsgraden den Sauerstoff in Mengen aufnimmt, die zueinander in dem Verhältnisse von 7,8 : 11,07 : 15,6 stehen[1]).

---

# 40. Gay-Lussac entdeckt das Volumgesetz. 1808.

## Einige Abschnitte aus Gay-Lussac's Abhandlung über die Verbindungen gasförmiger Körper[2]).

*Gay-Lussac und Alexander von Humboldt fanden 1805, dafs sich ein Raumteil Sauerstoff mit zwei Raumteilen Wasserstoff zu Wasser vereinigen. Gay-Lussac dehnte die Untersuchung auf andere Verbindungen aus und entdeckte das Gesetz, dafs die chemische Vereinigung von Gasen nach einfachen Volumverhältnissen erfolgt. Diese für die weitere Entwicklung der Chemie sehr wichtige Entdeckung wurde in der Abhandlung vom Jahre 1808 bekannt gegeben. Über Gay-Lussac siehe auch* ***41.***

Mehrere Eigenschaften, welche die Körper im festen, im flüssigen oder im gasförmigen Zustande besitzen, sind unabhängig von der Kraft der Kohäsion; andere Eigenschaften scheinen dagegen durch diese der Intensität nach sehr variable Kraft modifiziert zu werden und dann kein festes Gesetz zu befolgen. Die festen und flüssigen Körper würden durch einerlei Druck jeder eine verschiedene Raumverminderung erfahren, indes ein gleicher Druck den Raum aller elastischen Flüssigkeiten gleichmäfsig vermindert[3]). Ebenso dehnt zwar die Hitze alle Körper aus, aber bis jetzt hat man bei den flüssigen und bei den festen Körpern kein bestimm-

---

1) Die Gewichtsmengen Sauerstoff, welche mit der gleichen Menge (100 g) Blei verbunden sind, fand Berzelius gleich 7,8 g (S. 234), 11,07 g (S. 235) und 15,6 g (S. 235). Die Zahlen 7,8 und 15,6 verhalten sich wie 1 : 2 und bringen somit das Gesetz von den multiplen Proportionen zum Ausdruck. Daher lauten die entsprechenden Formeln $PbO$ und $PbO_2$. Mennige besitzt dagegen eine etwas schwankende Zusammensetzung. Die Formel $Pb_3O_4$, welche man ihr beilegt, würde auf 100 Teile Blei nur 10,3 Teile Sauerstoff ergeben.

2) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 42. Herausgegeben von W. Ostwald. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1893. Die Abhandlung erschien unter dem Titel „Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses" in den Mémoires de physique et de chimie de la société d'Arcueil. Bd. II, 1809.

3) Mariottes Gesetz, siehe **17**, S. 89.



tes Gesetz für diese Ausdehnung gefunden; nur bei den elastischflüssigen Körpern ist sie für alle gleich und von der Natur des Körpers unabhängig. Die gegenseitige Anziehung der kleinsten Teilchen in den festen sowie in den flüssigen Körpern ist folglich die Ursache, welche die eigentümlichen Eigenschaften dieser Körper modifiziert, und nur, wenn diese Anziehung, wie in den Gasarten, gänzlich aufgehoben ist, scheinen die Körper unter ähnlichen Umständen einfache und feste Gesetze zu befolgen.

Man wird in dieser Abhandlung eine neue Eigenschaft der Gasarten kennen lernen. Es ist nämlich meine Absicht hier zu beweisen, dafs die gasförmigen Körper sich untereinander nach sehr einfachen Verhältnissen verbinden, und dafs auch die Raumverminderung, welche bei diesen Verbindungen erfolgt, sich nach einem bestimmten Gesetze richtet. Die Äufserung einiger ausgezeichneten Chemiker, dafs wir von der Zeit vielleicht nicht mehr weit entfernt sind, wo die meisten chemischen Erscheinungen der Rechnung unterworfen werden können, wird dadurch, wie ich hoffe, noch mehr Gewicht erhalten.

Dafs 100 Mafs Sauerstoffgas genau 200 Mafs Wasserstoffgas verzehren, wenn beide sich verbinden und Wasser bilden, ist durch die Versuche dargethan, welche von Humboldt in Gemeinschaft mit mir hierüber angestellt hat. Ich wurde dadurch auf die Vermutung geführt, dafs die anderen Gasarten sich wohl nach ebenso einfachen Verhältnissen mit einander verbinden möchten, und dieses veranlafste mich, die folgenden Versuche anzustellen.

Ich bereitete salzsaures Gas und verband es mit Ammoniakgas. Es sättigen 100 Mafs salzsaures Gas genau 100 Mafs Ammoniakgas, und das entstehende Salz ist vollkommen neutral[1]). Bringt man kohlensaures Gas mit Ammoniakgas in Berührung, so tritt eine Verbindung ein, und es verdichten sich mit 100 Mafs kohlensaurem Gas genau 200 Mafs Ammoniakgas.

Nach den Versuchen Berthollets sind im Ammoniak auf 100 Mafs Stickstoff genau 300 Mafs Wasserstoffgas enthalten.

Ich habe bei meinen Versuchen gefunden, dafs Schwefelsäureanhydrid auf 100 Mafs schwefligsaures Gas 50 Mafs Sauerstoffgas enthält[2]).

Detoniert man mit einander 50 Mafs Sauerstoffgas und 100 Mafs gasförmiges Kohlenstoffoxyd, so verschwinden beide Gasarten

---

1) Es entsteht Salmiak nach der Gleichung: $NH_3 + HCl = NH_4Cl$.

2) Die Bildung von Schwefelsäureanhydrid aus schwefligsaurem Gas und Sauerstoff geht nach folgender Gleichung vor sich: $SO_2 + O = SO_3$.

völlig, und man findet statt derselben 100 Maſs kohlensaures Gas [1]).

Es scheint mir nach diesen Beweisen offenbar zu sein, daſs zwei Gasarten, welche eine auf die andere chemisch einwirken, sich immer in den allereinfachsten Verhältnissen mit einander verbinden; in allen vorstehenden Fällen geschah dieses nach den Verhältnissen 1 : 1 oder 1 : 2 oder 1 : 3. Es ist sehr wichtig, zu bemerken, daſs sich kein einfaches Verhältnis zwischen den Elementen einer Verbindung zeigt, wenn man auf die Gewichte sieht. Nur wenn eine zweite Verbindung zwischen denselben Elementen vor sich geht, ist in der neuen Proportion das Vermehrte nach einem Vielfachen der vorherigen Menge desselben vorhanden [2]). Dagegen vereinigen sich die Gasarten immer in solchen Verhältnissen, daſs, wenn man die Elemente, welche eine Verbindung eingehen, dem Volumen nach betrachtet, das eine Element ein Vielfaches des anderen ist.

Die Gasarten verbinden sich ferner nicht bloſs mit einander nach sehr einfachen Verhältnissen, sondern auch die Raumverminderung, die sie bei der Vereinigung erleiden, steht immer in einem sehr einfachen Verhältnisse zu dem Volumen, welches die Gase vor ihrer Verbindung einnahmen. Ich habe angeführt, daſs nach Berthollet [3]) 100 Maſs gasförmiges Kohlenstoffoxyd sich mit 50 Maſs Sauerstoff verbinden und 100 Maſs kohlensaures Gas geben. Beide Gasarten ziehen sich also bei ihrer Vereinigung um einen Raum zusammen, der gerade so groſs ist wie derjenige, den das hinzugefügte Sauerstoffgas einnahm.

Saussure hat gefunden, daſs das specifische Gewicht des Wasserdampfes sich zu dem specifischen Gewichte der atmosphärischen Luft wie 10 : 14 verhält. Gesetzt es sei, wenn 100 Maſs Sauerstoff sich mit 200 Maſs Wasserstoff zu Wasser verbinden, die ganze Raumverminderung dem Raume des Sauerstoffgases

---

1) $CO + O = CO_2$.

2) Daltons Gesetz von den multiplen Proportionen. Was z. B. die letzterwähnten Verbindungen anbelangt, so verhalten sich die Gewichtsmengen Kohlenstoff und Sauerstoff im Kohlenstoffoxyd (CO) wie 12 : 16, im kohlensauren Gas ($CO_2$) wie 12 : 32. Die Sauerstoffmengen, welche mit der gleichen Menge Kohlenstoff verbunden sind, verhalten sich demnach wie 1 : 2. Oder das Vermehrte, der Sauerstoff nämlich, wiegt jetzt doppelt so viel wie die im Kohlenstoffoxyd mit der gleichen Menge Kohlenstoff verbundene Menge desselben.

3) Berthollet (1748—1822) hervorragender französischer Chemiker.



gleich[1]), so würde jenes Verhältnis 10 : 16 sein. Mit dieser bedeutenden Verschiedenheit und der Autorität eines so ausgezeichneten Physikers wie Saussure scheint jene Voraussetzung nicht bestehen zu können; doch weifs man aus den Versuchen Watts, dafs aus einem Kubikzoll Wasser ungefähr ein Kubikfufs Wasserdampf wird, das Wasser also bei seiner Verwandlung in Dampf den 1728 fachen Raum einnimmt. Nach Saussure's Bestimmung der Dichtigkeit des Wasserdampfes zu derjenigen der Luft = 10 : 14 würde jener nur den 1488 fachen Raum des Wassers einnehmen, dagegen den 1700 fachen Raum, wenn dieses Verhältnis = 10 : 16 ist. Es ist daher sehr wahrscheinlich 10 : 16 das wahre Verhältnis der Dichtigkeiten von Wasserdampf und Luft[2]).

Das Ammoniakgas besteht dem Volumen nach aus drei Teilen Wasserstoff und einem Teil Stickstoff, und die Dichtigkeit des Ammoniaks, verglichen mit derjenigen der atmosphärischen Luft, ist 0,596. Gesetzt die Zusammenziehung beider Elemente im Augenblicke der Vereinigung sei der halben Summe der Volumina der beiden Gasarten oder dem Doppelten des Volumens des Stickstoffs gleich, so müfste die Dichtigkeit des Ammoniakgases 0,594 sein. Dieses fast vollkommene Zusammenstimmen beweist, dafs in der That die Zusammenziehung der Elemente des Ammoniakgases genau so grofs ist wie das doppelte Volumen des Stickstoffs, welcher in die Verbindung eingeht[3]).

Man sieht aus diesen verschiedenen Beispielen, dafs die Zusammenziehung, welche zwei Gasarten erleiden, indem sie sich verbinden, mit dem Volumen derselben in einem einfachen Verhältnis steht. Die unter dieser Voraussetzung berechneten Dichtigkeiten der Verbindungen weichen nur sehr wenig von den Dichtigkeiten ab, welche die Erfahrung giebt, und es ist wahrscheinlich, dafs diese Abweichungen völlig verschwinden, wenn die bezüglichen Versuche mit mehr Genauigkeit wiederholt werden.

---

1) Wie es sich thatsächlich verhält.

2) Also nehmen 2 Raumteile Wasserstoff und 1 Raumteil Sauerstoff nach ihrer Vereinigung zu Wasser 2 Raumteile ein, was sich auch direkt beobachten läfst, wenn die Vereinigung bei einer Temperatur vor sich geht, bei welcher das entstandene Wasser im gasförmigen Zustande verbleibt.

3) Dafs 3 Raumteile Wasserstoff sich mit einem Raumteil Stickstoff zu zwei Raumteilen Ammoniak verbunden haben müssen, läfst sich auch zeigen, indem man ein bestimmtes Volumen Ammoniakgas durch fortgesetzte Einwirkung des Induktionsfunkens wieder in seine Bestandteile zerlegt. Es tritt dabei nämlich eine Verdoppelung des Volumens ein, indem aus 2 Raumteilen der Verbindung wieder die 4 Raumteile der Komponenten hervorgehen.

# 41. Das von Courtois (1811) entdeckte Jod wird von Gay-Lussac eingehend untersucht.

## Gay-Lussac's Untersuchungen über das Jod. 1814[1]).

*Louis Joseph Gay-Lussac wurde 1778 in St. Léonard (Limousin) geboren, studierte 1797—1800 auf der „École polytechnique", an welcher er später die Professur für Chemie bekleidete, während er gleichzeitig an der Sorbonne Physik vortrug. Gay-Lussac starb 1850 in Paris. Zahlreiche Errungenschaften der Physik und Chemie sind mit seinem Namen verknüpft. Die Abhandlung über das Jod ist eine der besten Monographieen, die bisher über ein Element geschrieben wurden.*

Ich habe bereits zweimal über den neuen von Courtois entdeckten Körper Mitteilung gemacht, den ich nach der schönen, violetten Farbe seines Dampfes Jod[2]) nennen zu dürfen glaube, und habe die Resultate der Versuche mitgeteilt, welche ich, gleich nachdem dieser Körper bekannt geworden war, zur Bestimmung der Natur desselben und der Stelle, die er unter den anderen Elementen einnimmt, angestellt hatte. Seitdem habe ich diesen Untersuchungen neue hinzugefügt, und diese sind es, über welche ich jetzt berichten will.

Das Jod ist im festen Zustande schwarzgrau, sein Dampf aber ist sehr schön violett. Es riecht gerade so wie das Chlor, doch schwächer.

Häufig bildet es Flimmer oder Blättchen, welche denen des Eisenglimmers[3]) ähnlich sind, manchmal aber breite und glänzende rhombische Blätter oder Tafeln; auch habe ich es in länglichen Oktaedern von ungefähr einem Centimeter Länge erhalten. Es ist sehr weich und zerreiblich und läfst sich sehr fein in der Reibschale pulvern.

Sein Geschmack ist sehr herb, obgleich seine Löslichkeit nur ausnehmend gering ist. Es färbt anfangs die Haut dunkel gelb-

---

1) Annales de Chimie, Bd. 91, S. 5—96. Eine von Ostwald herausgegebene Übersetzung enthält der 4. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1889). Dieselbe wurde unter Heranziehung des französischen Originaltextes dem hier gebrachten Auszuge der beiden ersten Kapitel zu Grunde gelegt.

2) ἰώδης = veilchenblau.

3) Feinblättrige Massen von Eisenoxyd.

braun, diese Farbe verliert sich aber allmählich. Wie das Chlor zerstört es die Pflanzenfarben, doch weit weniger kräftig. Wasser löst ungefähr 1/7000 seines Gewichtes auf und färbt sich dadurch orangegelb[1]). Sein spezifisches Gewicht ist 4,948 bei einer Temperatur von 17° C.

Das Jod schmilzt bei einer Wärme von 107° C. Unter einem Drucke von 76 cm Quecksilberhöhe verflüchtigt es sich bei 175 oder 180° C.[2]). Um diese letzteren Bestimmungen mit Genauigkeit zu erhalten, habe ich Jod in konzentrierte Schwefelsäure, welche nur wenig auf dasselbe einwirkt, gethan und beobachtet, auf welche Temperatur die Schwefelsäure erhitzt werden konnte, bis die Joddämpfe dieselbe durchbrachen. Zwei Versuche, welche unter etwas verschiedenen Umständen angestellt wurden, gaben mir seinen Siedepunkt, der eine = 175°, der andere = 180° C. Dieser Versuch ist nicht ganz gefahrlos. Obgleich ich Glasstückchen in die Schwefelsäure gethan hatte, verwandelte sich doch bei dem zweiten Versuche das Jod mit einem Male in Dampf und trieb die Schwefelsäure aus dem Gefäfse, welche mir die rechte Hand und den rechten Fufs stark verbrannte. Das Jod geht mit Wasser, dem man es beigemengt hat, beim Destillieren über; man glaubte daher anfangs, es habe ungefähr einerlei Flüchtigkeit mit dem Wasser, dieses ist aber ein Irrtum. Dieselbe Erscheinung findet bei den ätherischen Ölen statt, welche für sich allein erst in einer Wärme von ungefähr 155° kochen, und die man doch, wenn man sie mit Wasser vermengt hat, bei einer Wärme von 100° überdestilliert.

Das Jod scheint die Elektricität nicht zu leiten. Ich brachte ein kleines Stück in eine galvanische Kette; dadurch wurde die Wasserzersetzung augenblicklich gehemmt.

Das Jod ist nicht entzündlich und verbrennlich und läfst sich auf keine Art direkt mit dem Sauerstoff vereinigen. Ich halte es für einen einfachen Körper und stelle es den Versuchen zufolge, die ich teils schon bekannt gemacht habe, teils weiterhin anführen werde, zwischen den Schwefel und das Chlor, weil seine Verwandtschaft zu anderen Elementen stärker als die des ersteren, aber schwächer als die des letzteren ist. Das Jod erzeugt wie diese beiden einfachen Körper zwei Säuren, die eine in Verbindung mit

1) Bei 10—12° sind zur Lösung von einem Teil Jod etwa 5500 Teile Wasser erforderlich.

2) Nach neueren Angaben liegt der Schmelzpunkt bei 114°, der Siedepunkt bei 184° C.

Sauerstoff, die zweite in Verbindung mit Wasserstoff[1]). Da die Säuren, welche das Chlor, das Jod und der Schwefel mit dem Wasserstoff bilden, die Eigenschaften der durch den Sauerstoff gebildeten besitzen, so müssen sie mit ihnen in eine Klasse unter dem gemeinsamen Namen Säuren gestellt werden; um sie aber zu unterscheiden, schlage ich vor, dem speziellen Namen der Säure, welche man in Betracht zieht, die Vorsilbe Hydro- vorzusetzen, sodafs die sauren Verbindungen des Wasserstoffs mit dem Chlor, dem Jod und dem Schwefel die Namen Hydrochlorsäure, Hydrojodsäure und Hydroschwefelsäure erhalten würden. Die sauren Verbindungen des Sauerstoffs mit denselben Elementen würden auf Grund der gebräuchlichen Nomenklatur Chlorsäure, Jodsäure u. s. w. heifsen[2]).

Das Jod verbindet sich mit den meisten verbrennlichen Körpern; ich habe aber nur einige dieser Verbindungen untersucht. Der Phosphor vereinigt sich mit ihm in verschiedenen Verhältnissen unter Entbindung von Wärme, aber ohne Leuchten[3]).

Aller Jodphosphor, nach welchem Verhältnisse man ihn auch zusammengesetzt habe, besitzt die Eigenschaft, wenn man ihn befeuchtet, saure Dämpfe auszustofsen, und diese bestehen aus Jodwasserstoffgas, welches sich durch Zersetzung des Wassers bildet.

Kommt Jodwasserstoff mit Quecksilber in Berührung, so fängt er an sich zu zersetzen, und läfst man ihn einige Zeit darüber stehen oder schüttelt ihn damit, so zersetzt er sich ganz und gar, wobei sich die Oberfläche des Quecksilbers mit einem grünlichgelben Körper bedeckt, der Jodquecksilber ist, bis sich endlich alles Gas auf diese Art verwandelt hat. Es bleibt dann nichts zurück als reiner Wasserstoff, der genau die Hälfte des Raumes einnimmt wie zuvor das Jodwasserstoffgas. Zink und Kalium haben mir mit Jodwasserstoff, welchen ich über sie brachte, ganz die nämlichen Resultate gegeben, nämlich Jodmetall und Wasserstoff. Diese Analyse und die Erscheinungen, welche der Jod-

[1]) $J_2O_5$ und HJ. Erstere Verbindung ist ein Säureanhydrid, die entsprechende Säure entsteht erst durch Vereinigung desselben mit Wasser.

[2]) Die Zusammensetzung der drei Hydrosäuren wird durch die Formeln HCl, HJ, $H_2S$ ausgedrückt, diejenige der Sauerstoffsäuren durch $HClO_3$, $HJO_3$, $H_2SO_4$.

[3]) Die Reindarstellung und genauere Erforschung der Verbindungen von Jod mit Phosphor erfolgte erst später. Bekannt sind Zweifach-Jodphosphor und Dreifach-Jodphosphor, $PJ_2$ und $PJ_3$. Beide zersetzen das Wasser unter Bildung von Jodwasserstoff: $PJ_3 + 3H_2O = 3HJ + H_3PO_3$.

phosphor mit Wasser geben, sind zusammengenommen so überzeugend, dafs über die Natur des Jodwasserstoffgases auch nicht der geringste Zweifel bleiben kann.

Das Jodwasserstoffgas ist farblos, riecht wie Chlorwasserstoffsäure, schmeckt sehr sauer, enthält die Hälfte seines Volumens an Wasserstoff und sättigt einen dem seinigen gleichen Raum Ammoniak[1]). Das Chlor entzieht demselben im Augenblicke den Wasserstoff; dabei entsteht ein schöner violetter Dampf, und es bildet sich Chlorwasserstoffgas[2]).

Um die Dichtigkeit von Jodwasserstoff im Vergleich mit derjenigen der atmosphärischen Luft zu bestimmen, wog ich eine gläserne Flasche, deren Volumen mir genau bekannt war, voll atmosphärischer Luft und dann gefüllt mit diesem Gase. Ich fand so die Dichtigkeit desselben 4,443 mal gröfser als die der atmosphärischen Luft.

Setzt man den Jodwasserstoff der Rotglühhitze aus, so zersetzt er sich zum Teil. Er entmischt sich vollständig, wenn man ihn mit Sauerstoffgas vermengt durch ein rotglühendes Rohr treibt, wobei Wasser entsteht und das Jod frei wird[3]).

Das Jodwasserstoffgas ist im Wasser sehr löslich und giebt diesem nicht nur eine grofse Dichtigkeit, wenn es darin in einer gewissen Menge aufgelöst ist, sondern macht es auch rauchend. Man erhält so die tropfbare Jodwasserstoffsäure. — Diese Säure läfst sich indes noch auf eine bequemere Weise herstellen, wenn man, wie wir weiter oben gesehen haben, Jodphosphor in Wasser auflöst und den dabei entstehenden Jodwasserstoff von der sich zugleich bildenden phosphorigen Säure mittelst Destillation trennt[4]). Eine noch leichtere Art, sie zu bilden, ist die folgende: man treibe einen Strom Schwefelwasserstoffgas durch Wasser, worin sich Jod befindet; der Wasserstoff vereinigt sich dann mit dem Jod, und der Schwefel fällt zu Boden[5]). Man erhitzt darauf die Flüssigkeit, um den überschüssigen Schwefelwasserstoff zu verjagen, und erhält dann durch Filtrieren oder durch Abgiefsen, nachdem der Schwefel sich zu Boden gesetzt hat, die Jodwasserstoffsäure sehr rein und ohne Farbe.

---

1) $HJ + NH_3 = NH_4J$ (Jodammonium).
2) $HJ + Cl = HCl + J$.
3) $2HJ + O = H_2O + J$.
4) $PJ_3 + 3H_2O = 3HJ + H_3PO_3$ (Phosphorige Säure).
5) $2J + H_2S = 2HJ + S$.

Jodwasserstoffsäure läfst sich wie die Schwefelsäure durch Abtreiben des Wassers mittelst Hitze konzentrieren; denn erst wenn die Temperatur bis auf 125° C. gestiegen ist, fängt die Jodwasserstoffsäure an überzudestillieren; alles was früher übergeht, ist nur sehr wenig sauer. Ihre Temperatur läfst sich nicht über 128° C. hinaus bringen, wenn sie frei entweichen kann. Ihre Dichtigkeit beträgt dann 1,7 und verändert sich nicht mehr merklich.

Jodwasserstoffsäure färbt sich, selbst bei gewöhnlicher Temperatur, wenn die Luft Zutritt zu ihr hat. Dabei nimmt sie Sauerstoff auf, der mit einem Teile ihres Wasserstoffs sich zu Wasser vereinigt[1]). Das frei werdende Jod fällt aber nicht nieder, sondern löst sich in der übrigen Jodwasserstoffsäure auf und färbt sie desto stärker rotbraun, je gröfser die Menge des Jods ist.

Konzentrierte Schwefelsäure, Salpetersäure und Chlor zersetzen die Jodwasserstoffsäure augenblicklich, indem sie sich ihres Wasserstoffs bemächtigen und das Jod frei machen, welches entweder niederfällt oder als purpurfarbener Dampf entweicht.

Mit Schwefel bildet das Jod eine Verbindung, welche schwarzgrau und strahlig ist wie Schwefelantimon.

Bei gewöhnlicher Temperatur schien mir trockener wie feuchter Wasserstoff keinerlei Einwirkung auf das Jod zu äufsern. Wenn man aber ein Gemenge von Jod und Wasserstoff in einer Röhre der Rotglut unterwirft, so findet Verbindung statt, und man erhält Jodwasserstoffsäure.

Kohle wirkt auf das Jod nicht, weder in niederer noch in sehr hoher Temperatur. Dagegen greifen mehrere Metalle, wie Zink, Eisen, Zinn, Quecksilber und Kalium, wenn sie fein zerteilt sind, das Jod schon in mäfsiger Wärme an. So leicht auch diese Verbindungen vor sich gehen, so wird bei ihnen doch nur wenig Wärme und selten Licht frei. Die Verbindung von Jod und Zink, welche ich Jodzink nenne, ist farblos, leicht schmelzbar und sublimiert in schönen, vierseitigen, nadelförmigen Prismen. Sie ist sehr löslich in Wasser und zerfliefst schnell an der Luft. Beim Auflösen entbindet sich aber kein Gas[2]).

Eisen verhält sich ebenso zu Jod wie Zink. Das Jodeisen ist braun, schmilzt in der Rotglühhitze und löst sich im Wasser auf.

[1]) $2HJ + O = H_2O + 2J$.

[2]) Im Gegensatz zu Jodphosphor, der das Wasser zersetzt. Siehe S. 242, Anmerkung [3]).

Kalium und Jod verbinden sich unter Freiwerden von viel Wärme und von Licht, das durch den Joddampf hindurch violett erscheint. Das Jodkalium schmilzt und wird verflüchtigt, ehe es zur Rotglut kommt. Die Lösung desselben in Wasser ist vollkommen neutral.

Jodblei, Jodkupfer, Jodwismut, Jodsilber und Jodquecksilber sind in Wasser unlöslich, während die Verbindungen des Jods mit den leicht oxydierbaren Metallen löslich sind.

Der Stickstoff läfst sich nicht unmittelbar, sondern nur mittelst des Ammoniaks mit dem Jod verbinden. Wir verdanken die Entdeckung dieser Verbindung Courtois.

Dieser Jodstickstoff läfst sich erhalten, wenn man sehr fein gepulvertes Jod in eine Lösung von Ammoniak bringt[1]).

Er hat die Gestalt eines Pulvers, ist bräunlich-schwarz und knallt bei dem leisesten Stofs und beim Erhitzen unter Entbindung eines schwachen violetten Lichtes. Ich habe häufig gesehen, dafs er von selbst detonierte, wenn er gut bereitet war.

# 42. Die Entdeckung von Natrium und Kalium. 1807.

## H. Davy, Über einige neue Erscheinungen chemischer Veränderungen, welche durch die Elektricität bewirkt werden[2]).

*Humphry Davy wurde 1778 in Pensance (Cornwall) geboren und starb 1829 in Genf auf einer Reise, die er zur Wiederherstellung seiner frühzeitig geschwächten Gesundheit unternommen hatte. Er war der Sohn eines Holzschnitzers und fand als Apothekerlehrling Gelegenheit, sich in die Naturwissenschaften einzuarbeiten.*

[1]) $NH_3 + 6J = 3HJ + NJ_3$.

[2]) Diese Abhandlung erschien 1808 in den Philosophical Transactions unter dem Titel: On some new Phenomena of chemical changes produced by electricity, particularly the decomposition of the fixed alkalies. Dem hier gegebenen Auszuge wurde die in Nr. 45 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1893) erschienene Übersetzung zu Grunde gelegt. Letztere ist mit dem Original verglichen und wo es zweckmäfsig schien, betreffs der Ausdrucksweise Änderungen unterzogen worden.

*Im Jahre 1801 wurde er Professor der Chemie in London. Der hier auszugsweise mitgeteilte Vortrag über die Alkalimetalle, welchen Davy im November des Jahres 1807 hielt, war ein wissenschaftliches Ereignis von ganz hervorragender Wichtigkeit. 1820—1827 war Davy Präsident der Royal Society. Populär ist sein Name durch die Erfindung des Bogenlichts und der Sicherheitslampe geworden.*

In der Vorlesung, die ich im vergangenen Jahre zu halten die Ehre hatte, sind von mir eine grofse Menge Zersetzungen und chemische Veränderungen beschrieben worden, welche die Elektricität in Körpern bewirkt, deren Bestandteile bekannt sind. Schon damals wagte ich den Schlufs zu ziehen, dafs diese neue Methode der Untersuchung zu einer genaueren Kenntnis der Elemente der Körper führen würde. Während einer Reihe sehr mühsamer Anwendungen der Elektrolyse auf Körper, die bisher einfach schienen, und die durch Einwirkung der gewöhnlichen Reagentien noch nicht zersetzt worden waren, habe ich das Glück gehabt, neue und merkwürdige Resultate zu erhalten.

Ich versuchte zuerst, die feuerbeständigen Alkalien[1]) in ihren wässerigen, bei gewöhnlicher Temperatur gesättigten Lösungen mit Hülfe der stärksten elektrisch-galvanischen Apparate, die mir zu Gebote standen, zu zersetzen. Bei aller Intensität der Wirkung wurde jedoch das Wasser allein angegriffen, und unter grofser Hitze und heftigem Aufbrausen entwickelten sich blofs Wasserstoff und Sauerstoff.

Ich schmolz daher bei meinen ferneren Versuchen Kali, indem ich es in einen Platinlöffel legte und aus einem Gasometer Sauerstoffgas durch die Flamme einer Weingeistlampe darauf blasen liefs. Während das Kali auf diese Art einige Minuten lang in heftiger Rotglühhitze und im Zustande vollkommener Flüssigkeit erhalten wurde, setzte ich den Löffel mit dem positiven, und das Kali selbst durch einen Platindraht mit dem negativen Ende des galvanischen Apparates in leitende Verbindung. Bei dieser An-

[1]) Es sind dies die Verbindungen der Metalle Kalium und Natrium mit Sauerstoff, das Kali und das Natron ($K_2O$ und $Na_2O$), welche vor Davy für unzerlegbare Körper gehalten wurden, wenn auch Lavoisier bereits ihre zusammengesetzte Natur vermutet hatte. Die Alkalien verflüchtigen sich erst bei einer der Weifsglut sich nähernden Temperatur. Auch die Verbindungen von Kalium- und Natriumoxyd mit Wasser (KOH und NaOH) werden Alkalien genannt.



ordnung zeigten sich mehrere glänzende Erscheinungen. Das Kali war nun in hohem Grade leitend, und so lange die Verbindung dauerte, sah man am negativen Drahte ein sehr lebhaftes Licht und im Berührungspunkte eine Flammensäule, welche von einem sich hier entbindenden, verbrennbaren Stoff herzurühren schien[1]). Als ich die Anordnung änderte und den negativen Draht mit dem Platinlöffel, den positiven mit dem Platindraht, der das Kali berührte, verband, erschien an der Spitze des Drahtes ein lebhaftes, bleibendes Licht; um dasselbe liefs sich aber nichts wahrnehmen, was einem Verbrennen geglichen hätte.

Das Kali schien bei diesem Versuche vollkommen trocken zu sein, und es liefs sich daher annehmen, dafs der brennbare Körper, welcher während der Einwirkung der Elektricität am negativen Drahte sich zu bilden schien, durch die Zersetzung des Kali entstehe. Ich versuchte es auf verschiedene Weise, diesen brennbaren Körper aufzufangen, jedoch umsonst. Dies gelang mir erst, als ich die Elektricität zugleich als Schmelzungs- und Zersetzungs-Mittel auf das Kali einwirken liefs.

Kali, das man durch Glühen vollkommen getrocknet hat, ist zwar ein Nichtleiter der Elektricität, wird aber schon leitend durch sehr wenig Feuchtigkeit, welche die feste Aggregation desselben nicht merklich ändert; in diesem Zustande nun wird es durch eine etwas energische elektrische Einwirkung geschmolzen und zersetzt.

Ich nahm ein kleines Stück reines Kali, liefs es einige Sekunden mit der Atmosphäre in Berührung, wodurch es an der Oberfläche leitend wurde, legte es auf eine isolierte Platinscheibe, die mit dem negativen Ende einer Batterie von 250 Plattenpaaren verbunden war, und berührte die Oberfläche des Kali mit dem positiven Platindrahte. Der ganze Apparat stand an freier Luft. Sogleich zeigte sich eine sehr lebhafte Wirkung. Das Kali begann zu schmelzen. An der oberen Fläche sah man ein heftiges Aufbrausen; an der unteren oder negativen Fläche war keine Gasentwicklung wahrzunehmen; ich entdeckte aber kleine Kügelchen, die einen sehr lebhaften Metallglanz hatten und völlig wie Quecksilber aussahen.

Eine Menge von Versuchen bewiesen mir bald, dafs diese Kügelchen die Substanz waren, nach der ich suchte: Ein brenn-

[1]) Das freiwerdende Metall Kalium verband sich bei dieser Versuchsanordnung gleich wieder mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft.

barer Körper eigentümlicher Art, und zwar das dem Kali zu Grunde liegende Metall. Ich fand, dafs die Gegenwart von Platin ohne Einflufs auf das Resultat ist, und dies Metall nur die Elektricität zuführte, welche die Zersetzung bewirken soll. Es entstand nämlich immer dieselbe Substanz, ich mochte den Stromkreis durch Stücke Kupfer, Silber, Gold, Graphit oder selbst durch Kohle schliefsen.

Natron gab ähnliche Resultate wie das Kali, wenn man es auf dieselbe Art behandelte.

Bei allen Zersetzungen chemischer Verbindungen, welche ich bis dahin untersucht hatte, waren stets die brennbaren Elemente am negativen Pole entbunden worden, während der Sauerstoff am positiven Pole zum Vorschein kam oder dort in Verbindung trat. Es war daher der natürlichste Gedanke, dafs bei der Einwirkung der Elektricität auf die Alkalien die neuen Substanzen auf ganz ähnliche Weise erzeugt werden.

Ich habe mehrere Versuche in einem mit Quecksilber abgesperrten Apparat, bei welchem die äufsere Luft ausgeschlossen war, angestellt. Diese bewiesen, dafs sich die Sache in der That so verhält. Wenn man nämlich festes Kali oder Natron, die so viel Feuchtigkeit eingesogen haben, dafs sie die Elektricität leiten, in Glasröhren einschliefst, welche mit Platindrähten versehen und vermöge derselben in den Stromkreis gebracht sind, so entstehen die neuen Substanzen an den negativen Metallflächen, und das Gas, welches sich während dessen an der positiven Metallspitze entbindet, ist ganz reiner Sauerstoff, wie die sorgfältigste und genaueste Prüfung mir bewiesen hat. Am negativen Pole erscheint gar kein Gas, aufser wenn Wasser im Überflusse da ist [1]).

Auch die folgenden synthetischen Versuche stimmen hiermit vollkommen überein:

Die aus dem Kali erzeugte Substanz verliert ihren Metallglanz an der Luft fast augenblicklich und überzieht sich mit einer weifsen Rinde. Ich fand sehr bald, dafs diese Rinde reines Kali ist, welches sogleich zerfliefst; es bildet sich dann eine neue Rinde, die wieder Feuchtigkeit aus der Luft an sich zieht, und endlich verschwindet das Kügelchen ganz, und man hat statt desselben eine gesättigte Lösung von Kali [2]).

[1]) Dann wird durch die Einwirkung des entstandenen Kaliums auf das Wasser Wasserstoff entwickelt (Siehe weiter unten, S. 251, Anm. [1]).)

[2]) $2K + O = K_2O$; $K_2O + H_2O = 2KOH$.



In besonders dazu eingerichteten, durch Quecksilber abgesperrten Glasröhren wurden einige Kügelchen mit atmosphärischer Luft, andere mit Sauerstoff in Berührung gebracht. Sie verschluckten augenblicklich den Sauerstoff und überzogen sich mit einer Rinde von Kaliumoxyd. Da es aber an Feuchtigkeit, dasselbe aufzulösen, fehlte, so beschränkte sich der Prozefs hierauf, und das Innere des Kügelchens blieb unverändert, indem die Rinde das Sauerstoffgas aufser Berührung mit demselben setzte.

Mit dem Grundstoff des Natrons (dem Element Natrium) erfolgen in beiden Fällen ähnliche Wirkungen.

Werden die aus Kali und Natron erhaltenen Elemente in einer gegebenen, rings umschlossenen Menge Sauerstoff erhitzt, so verbrennen sie schnell mit weifser glänzender Flamme, und die metallischen Kügelchen verwandeln sich in eine feste weifse Masse, welche aus Kali oder Natron besteht, je nachdem man Kalium oder Natrium zu dem Versuche genommen hat. Dabei wird Sauerstoff verschluckt. Die Oxyde, welche bei diesem Versuche entstanden, waren dem Anscheine nach trocken, oder enthielten wenigstens nicht mehr Feuchtigkeit, als sich in dem verschluckten Sauerstoffgas befunden haben konnte. Ihr Gewicht übertraf das der verbrannten Substanzen bedeutend.

Diese Thatsachen berechtigen uns anzunehmen, dafs sich Kali und Natron in Sauerstoff und in zwei eigentümliche Grundstoffe zerlegen lassen, wie Phosphorsäure, Schwefelsäure und Metalloxyde in Sauerstoff und eigentümliche, brennbare Grundstoffe zersetzbar sind [1]).

## Die Eigenschaften des Kaliums.

Ich habe sehr viel Schwierigkeit gefunden, die Grundstoffe der feuerbeständigen Alkalien, nachdem ich sie entdeckt hatte, aufzubewahren und sie so zu verschliefsen, dafs sich ihre Eigenschaften untersuchen liefsen. Steinöl ist von den Flüssigkeiten, welche ich daraufhin untersucht habe, diejenige, auf welche diese Stoffe die geringste Einwirkung zu haben scheinen. Sie erhalten sich darin, wenn die atmosphärische Luft ausgeschlossen ist, mehrere Tage lang, ohne sich merklich zu verändern; und zur Untersuchung ihrer physikalischen Eigenschaften kann man sie selbst an

[1]) Damals wurden die Oxyde von Phosphor und Schwefel als Säuren bezeichnet, während wir jetzt der Vereinigung dieser Oxyde mit Wasser den Namen Säure beilegen.



die offene Luft bringen, wenn sie mit einer dünnen Hülle von Steinöl umgeben sind.

Das Kalium erscheint bei 60° Fahrenheit in kleinen Kügelchen, welche den Metallglanz, die Undurchsichtigkeit und die übrigen äufserlichen Eigenschaften des Quecksilbers haben. Das Auge vermochte sie nicht von Quecksilberkügelchen zu unterscheiden, wenn sie daneben gelegt wurden [1]).

In dieser Temperatur ist jedoch das Kalium nur unvollkommen flüssig; bei 70° F. wird Kalium flüssiger, und bei 100° F. ist seine Flüssigkeit vollkommen, so dafs mehrere Kügelchen sich leicht zu einem einzigen vereinigen lassen. Bei einer Temperatur von 50° F. wird es zu einem festen Körper, der weich und hämmerbar ist und den Glanz des polierten Silbers hat. Nähert sich die Temperatur dem Frostpunkte, so wird das Kalium härter und brüchiger [2]).

Um in Dampf verwandelt zu werden, erfordert das Kalium eine Temperatur, welche der Rotglühhitze nahe kommt. Es ist ein vollkommener Leiter der Elektricität und ein vortrefflicher Wärmeleiter. Obgleich es in den bisher erwähnten Eigenschaften mit den Metallen übereinstimmt, so unterscheidet es sich von ihnen doch durch sein spezifisches Gewicht [3]).

Noch aufserordentlicher als diese physikalischen Eigenschaften ist das chemische Verhalten des Kaliums. Vom Verbrennen desselben im Sauerstoff habe ich bereits geredet. Langsam und ohne Flamme verbindet es sich mit demselben bei gewöhnlicher Temperatur. In der Hitze dagegen findet ein schnelles Verbrennen statt; das Licht ist dabei blendend weifs und die Hitze sehr stark.

Wirft man Kalium auf Wasser, das mit der Luft in freier Berührung ist, oder bringt man es in einen Tropfen Wasser, so wird letzteres mit grofser Heftigkeit zersetzt; es entsteht augenblicklich eine heftige Explosion mit glänzender Flamme, und man erhält eine Auflösung von reinem Kali. Ist dagegen die Luft ausgeschlossen, so erfolgt eine heftige Zersetzung des Wassers mit viel Hitze und Geräusch, aber ohne Licht, und das Gas, welches

[1]) Kalium schmilzt bei 62,5° und Natrium bei 95,6° Celsius. Die Legierung beider Metalle ist aber bei gewöhnlicher Temperatur flüssig. Der niedrige Schmelzpunkt, den Davy für Kalium angiebt, rührt deshalb wohl daher, dafs das von ihm der Elektrolyse unterworfene Kali etwas Natron enthielt.

[2]) 50. 60. 70, 100 Grad Fahrenheit sind annähernd gleich 10. 16. 21. 38 Grad Celsius.

[3]) Dasselbe ist 0,865. Davy hielt es nach seinen Bestimmungen für noch geringer.

man mittelst des pneumatischen Quecksilber- oder Wasserapparats auffängt, ist reiner Wasserstoff.

Auch auf Eis entzündet sich ein Kügelchen Kalium augenblicklich mit einer glänzenden Flamme, man findet dann im Eise ein ziemlich tiefes Loch, das zum Teil mit einer Auflösung von Kali angefüllt ist[1]).

Das Kalium hat eine so ausgezeichnete Verwandtschaft zum Sauerstoff und wirkt auf das Wasser so mächtig ein, dafs es zu Alkohol und Äther gebracht die geringe Menge Wasser, welche auch nach sorgfältiger Rektifikation in diesen vorhanden ist, zersetzt. Im Äther ist Kali unlöslich; während daher das Kalium sich des Sauerstoffs des dem Äther beigemischten Wassers bemächtigt, steigt Wasserstoffgas auf.

Metalloxyde, die man mit Kalium erhitzt, werden schnell reduziert. Als ich ein wenig Eisenoxyd mit Kalium auf eine Temperatur erwärmte, bei welcher das letztere überdestilliert, entstand eine lebhafte Einwirkung. Es erschienen Teilchen Kali und Teilchen eines grauen Metalls, das sich in Salzsäure unter Aufbrausen löste. Bleioxyd und Zinnoxyd wurden noch schneller reduziert. War Kalium im Überschufs vorhanden, so verband sich das wiederhergestellte Metall mit demselben zu einer Legierung.

## Eigenschaften und Natur des Natriums.

Das Natrium, der Grundstoff des Natrons, ist, wie schon erwähnt, bei gewöhnlicher Temperatur ein fester Körper. Es ist weifs und undurchsichtig, und wenn man es durch einen dünnen Überzug von Steinöl sieht, so hat es den Glanz und die Farbe des Silbers. Es ist aufserordentlich dehnbar und weifser als irgend eins der gewöhnlichen Metalle. Natrium ist ein Leiter der Elektricität und der Wärme wie das Kalium. Sein spezifisches Gewicht ist geringer als das des Wassers. Es schwimmt auf Sassafrasöl vom spezifischen Gewichte 1,096, sinkt aber in Naphta vom spezifischen Gewicht 0,86 zu Boden. Dieser Umstand hat mich in den Stand gesetzt, das spezifische Gewicht des Natriums mit Genauigkeit zu bestimmen, indem ich diese beiden Öle, die sich vollkommen durchdringen in verschiedenen Verhältnissen mischte, bis ich eine Flüssigkeit erhielt, in welcher das Kügelchen in jeder Tiefe schweben

[1]) Das Kalium reduziert das Wasser, d. h. es entzieht demselben seinen Sauerstoff, wodurch der Wasserstoff in Freiheit gesetzt wird: $2K + H_2O = K_2O + 2H$.



blieb. Diese Mischung bestand ungefähr aus 12 Teilen Naphta und 5 Teilen Sassafrasöl, was für das spezifische Gewicht derselben 0,9348 ergiebt [1]).

Das Natrium wird erst in einer sehr viel höheren Temperatur wie das Kalium flüssig. Seine Teilchen fangen bei 120° F. an ihre Kohäsion zu verlieren, und um 180° F. [2]) ist es vollkommen flüssig.

Das chemische Verhalten des Natriums ist im ganzen dem des Kaliums ähnlich, doch finden sich dabei einige charakteristische Verschiedenheiten.

Bringt man das Natrium mit der Luft in Berührung, so läuft es wie das Kalium sogleich an und überzieht sich allmählich mit einer weifsen Rinde, welche aber langsamer als beim Kalium zerfliefst. Ich habe diese Rinde sorgfältig untersucht, sie war nichts als reines Natron.

Bei gewöhnlicher Temperatur verbindet sich das Natrium mit dem Sauerstoff langsam. Wenn man es erhitzt, so geht die Verbindung schneller vor sich; Licht erscheint aber dabei erst, wenn man die Temperatur bis nahe an die Glühhitze erhöht hat. Im Sauerstoff brennt Natrium mit weifser Flamme und sprüht glänzende Funken umher.

Am auffallendsten giebt sich die Natur des Natriums durch seine Einwirkung auf Wasser zu erkennen. Wenn man es auf Wasser wirft, entsteht sogleich ein heftiges Aufbrausen und Zischen; es bildet mit dem Sauerstoff des Wassers Natron, welches sich sogleich auflöst; dabei entweicht Wasserstoffgas, ohne dafs Lichtentwicklung eintritt. Auf heifsem Wasser ist die Zersetzung heftiger, und es zeigt sich an der Oberfläche des Wassers meist ein kleines Funkensprühen, welches wahrscheinlich von Teilchen der Substanz herrührt, die abgerissen und mit der zur Entzündung nötigen Temperatur in die Luft geschleudert werden. Wenn man indes ein Kügelchen mit einem kleinen Wassertröpfchen oder mit feuchtem Papier in Berührung bringt, so reicht die Hitze, welche entsteht, gewöhnlich hin, das Natrium zu entzünden, weil in diesem Falle kein Körper da ist, der die Wärme schnell entführt.

Auf Alkohol und auf Äther wirkt das Natrium gerade so wie

[1]) Genauere Bestimmungen haben für das spezifische Gewicht des reinen Natriums den Wert 0,974 ergeben.

[2]) 180° F. = 82° C. Der wahre Schmelzpunkt ist 95,6° Celsius.

das Kalium. Das in diesen Flüssigkeiten enthaltene Wasser wird zersetzt, es bildet sich schnell Natron und der Wasserstoff entweicht[1]).

Es ist nicht unwahrscheinlich, dafs die alkalischen Erden Verbindungen derselben Art wie die Alkalien sind, d. h. metallische Grundstoffe von hoher Brennbarkeit verbunden mit Sauerstoff. Ich habe unter diesem Gesichtspunkte einige Versuche mit Baryt und mit Strontian angestellt; sie schienen mir diese Annahme zu bestätigen[2]).

Unter allen Erden haben Baryt und Strontian die ausgezeichnetste Ähnlichkeit mit den fixen Alkalien. Doch ist diese Ähnlichkeit nicht auf sie allein beschränkt, sie läfst sich auch im Kalk, in der Magnesia, in der Thonerde und in der Kieselerde[3]) nachweisen. Wir haben daher allen Grund zu hoffen, dafs auch diese widerspenstigen Körper der Einwirkung sehr mächtiger Batterien nicht widerstehen, und ihre Bestandteile uns mit Hülfe dieser neuen Methode der Analyse in Zukunft offenbar sein werden[4]).

Die Verwandtschaftskräfte der neuen Metalle, welche in den Alkalien enthalten sind, führen zu einer nicht zu ermessenden Menge von Versuchen.

Diese Körper werden mächtige Reagentien für die chemische Analyse, und da sie an Verwandtschaft zum Sauerstoff alle anderen bekannten Körper übertreffen, so werden sie vielleicht bei einigen bisher nicht zersetzten Körpern die Anwendung der Elektricität ersetzen können und sie zerlegen[5]).

Es würde leicht sein, diese Spekulationen noch weiter auszudehnen, doch enthalte ich mich dessen, denn die Absicht dieser Vorlesung besteht nicht darin, Hypothesen aufzustellen, sondern dem Naturforscher eine Reihe neuer Thatsachen bekannt zu machen.

1) Aus diesem Grunde findet das Natrium Verwendung, um absoluten Alkohol zu bereiten. d. h. dem Alkohol die letzten Spuren Wasser zu entziehen.

2) Unter dem Namen alkalische Erden werden die Oxyde der Metalle Calcium. Strontium und Barium ($CaO$, $SrO$, $BaO$) zusammengefafst, welche früher als Kalk, Strontian und Baryt bezeichnet wurden.

3) Magnesia, Thonerde, Kieselerde sind die Oxyde von Magnesium. Aluminium und Silicium ($MgO$, $Al_2O_3$, $SiO_2$).

4) Barium. Strontium, Calcium und Magnesium wurden bald darauf von Davy selbst isoliert. Silicium wurde zuerst von Berzelius 1823 hergestellt. Die Abscheidung des Aluminiums aus der Thonerde gelang Wöhler im Jahre 1827 (Siehe 45 dieses Buches).

5) Silicium und Aluminium wurden thatsächlich zuerst durch Einwirkung der Alkalimetalle auf die Verbindungen jener Elemente dargestellt: die Gewinnung des Aluminiums durch Elektrolyse ist neueren Datums.

# 43. Cuviers Katastrophentheorie. 1812.

## G. Cuvier, Die Umwälzungen der Erdrinde. Ausgewählte Abschnitte der einleitenden Kapitel[1]).

*Biographische Bemerkungen über Cuvier siehe 37.*

Die am niedrigsten gelegenen ebensten Teile der Erdoberfläche zeigen uns, selbst wenn wir bis auf bedeutende Tiefen in sie eindringen, nur horizontale Schichten von gröfserer oder geringerer Verschiedenheit in ihrer Zusammensetzung; dieselben schliefsen fast ausnahmslos unzählige Erzeugnisse des Meeres ein. Aus ähnlichen Schichten ist das hügelige Terrain gebildet. Mitunter sind die Muschelschalen so zahlreich, dafs sie für sich die ganze Masse des Bodens ausmachen. Sie finden sich in Höhen, welche das Niveau der Meere übersteigen, und zu welchen in der Jetztzeit kein Meer durch die gegenwärtig wirkenden Ursachen erhoben werden könnte. Diese organischen Überreste finden sich nicht nur in losem Sand, sondern das härteste Gestein schliefst sie oft ein und hat alle ihre Teile ausgefüllt. Sämtliche Gegenden der Welt, nicht nur die Kontinente, sondern auch alle Inseln von einiger Ausdehnung, bieten dieselbe Erscheinung. Die Zeit ist vorüber, dafs die Unwissenheit behaupten konnte, diese Überreste organisierter Körper seien blofse Naturspiele oder Erzeugnisse, welche im Schofse der Erde durch die schöpferische Thätigkeit der letzteren entstanden seien. Eine genaue Vergleichung der Formen dieser Überreste, ihrer Struktur, ja selbst oft ihrer chemischen Zusammensetzung zeigt nicht den geringsten Unterschied zwischen den fossilen Muscheln und denen, welche das Meer noch heute birgt. Ihre Erhaltung ist nicht weniger vollkommen; die kleinsten Arten bewahrten ihre zartesten Teile bis auf die feinsten Hervorragungen und dünnsten Spitzen. Sie haben also nicht nur im Meere gelebt, sondern wurden auch vom Meere abgesetzt. Das Meer hat sie an den Orten, wo man sie jetzt findet, zurückgelassen; es mufs sich folglich dort befunden haben, und zwar lange genug, um daselbst so regelmäfsige, ausgedehnte und stellenweise so feste Ablagerungen zu bilden, wie diejenigen, welche

[1]) Aus „Discours sur les révolutions de la surface du globe et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal par G. Cuvier. 6. Edition, Paris 1830, p. 7—23", übersetzt von F. Dannemann.



diese Überreste von Wassertieren beherbergen. Das Meeresbecken hat also eine Änderung erlitten, sei es, dafs seine Ausdehnung oder dafs seine Lage davon betroffen wurde. Das ist es, was schon die ersten Nachforschungen und die oberflächlichste Betrachtung lehrt.

Die Spuren der Umwälzungen werden deutlicher, wenn man etwas höher emporsteigt und sich dem Fufse der grofsen Gebirgsketten nähert. Es giebt auch dort noch Konchylien führende Schichten. Die Konchylien sind ebenso zahlreich und ebenso wohl erhalten; aber es sind nicht mehr dieselben Arten. Die Schichten, welche sie führen, sind auch im allgemeinen nicht mehr horizontal; sie sind geneigt, mitunter sogar fast senkrecht. Während man in ebenen oder hügeligen Gegenden tief eindringen mufste, um die Reihenfolge der Schichten zu erkennen, sieht man sie hier im Profil, wenn man den Thälern folgt, welche durch ihre Zerreifsung entstanden sind.

Diese geneigten Schichten, welche die Ketten der sekundären Gebirge zusammensetzen, sind nun nicht etwa den horizontalen Bänken der Niederungen aufgelagert; sie senken sich im Gegenteil unter dieselben hinab, so dafs der Boden der Niederungen sich den geneigten Schichten seitlich anlagert.

Wenn man in der Nähe eines Gebirges, das aus den letzteren besteht, in die horizontalen Schichten eindringt, so begegnet man den geneigten in der Tiefe wieder. Mitunter, wenn die geneigten Schichten sich nicht zu hoch erheben, sind ihre Gipfel von horizontalen Bänken bedeckt. Die ersteren sind demnach früher entstanden als die letzteren, und da sie anfänglich auch horizontal gewesen sein müssen, so folgt daraus, dafs sie emporgerichtet wurden, bevor die anderen sich daran angelehnt haben. Das Meer hat also, bevor es die horizontalen Ablagerungen bildete, schon andere Schichten abgesetzt, die aus irgend welchen Ursachen auf tausendfache Weise zerbrochen, aufgerichtet und umgestürzt wurden.

Wenn man eingehender die verschiedenen Schichten und die von ihnen eingeschlossenen fossilen Reste vergleicht, so erkennt man alsbald, dafs das Urmeer während der ganzen Zeit seines Bestehens weder unter sich ähnliche Gesteinschichten abgelagert hat, noch tierische Überreste derselben Art, dafs ferner keine seiner Ablagerungen sich über die gesamte Fläche erstreckt. welche dieses älteste Meer bedeckte. Je älter die Schichten sind, um so einförmiger erscheinen sie auf weiter Erstreckung, je

jünger sie sind, um so begrenzter sind sie und zeigen sich schon auf geringe Entfernungen Änderungen unterworfen. Der Bildung der Schichten ging also ein Wechsel in der Beschaffenheit der Wassermasse, sowie der Substanzen, welche sie in Lösung enthielt, parallel.

Man begreift, dafs inmitten solcher Änderungen in der Natur des Meeres die Lebewesen, welche es ernährte, nicht dieselben bleiben konnten. Die Arten, ja selbst die Gattungen wechselten, und wenn auch gewisse Arten wiederkehren, so läfst sich doch im allgemeinen behaupten, dafs die älteren Formationen ihre für sie charakteristischen Formen aufweisen, und diese allmählich verschwinden, um in den neueren Bildungen nicht mehr wiederzukehren, zumal nicht in dem Meere der Jetztzeit. Im Gegensatz dazu stehen die Konchylien der jüngeren Schichten hinsichtlich der Gattung denjenigen nahe, welche unsere Meere bevölkern: in gewissen neueren Ablagerungen endlich kommen sogar Arten vor, welche das geübteste Auge nicht von solchen unterscheiden kann, die an den benachbarten Küsten leben.

Es fand also in der organischen Welt eine Folge von Veränderungen statt, welche durch einen Wechsel in der Beschaffenheit des Mediums veranlafst wurden oder einem solchen wenigstens parallel gingen. Als endlich das Meer sich zum letzten Male von unseren Kontinenten zurückzog, wichen seine Bewohner nur wenig von den Geschöpfen ab, die es noch heute ernährt. Wir sagen zum letzten Male; wenn man nämlich mit etwas mehr Sorgfalt die organischen Überreste prüft, so gelangt man zu der Einsicht, dafs inmitten selbst der ältesten marinen Bildungen Schichten vorkommen, welche mit tierischen und pflanzlichen Erzeugnissen des Festlandes und des süfsen Wassers angefüllt sind. Es haben also die wiederholten Katastrophen, welche die Lage der Schichten veränderten, nicht nach und nach die verschiedenen Teile unserer Kontinente aus dem Schofs der Wellen gehoben, sondern es ist zu wiederholten Malen eingetreten, dafs schon aufs Trockene gesetzte Teile der Erde wieder vom Wasser überflutet wurden, sei es, dafs sie sich wieder senkten, sei es, dafs das Meer sich über sie erhob. Bemerkenswert ist aber, dafs diese wiederholten Einbrüche und Rückzüge keineswegs allmählich erfolgten. Im Gegenteil, die Mehrzahl der Katastrophen, welche dieselben herbeigeführt haben, erfolgten plötzlich, und zwar läfst sich dies am leichtesten bezüglich der letzten Katastrophe nachweisen. Diese hat nämlich im hohen Norden Leichen gewaltiger Vierfüfser zurückgelassen, welche vom

Eise eingeschlossen wurden und bis auf unsere Tage mit Haut und Haar erhalten blieben. Wären das Einfrieren und ihr Tod nicht zur selben Zeit erfolgt, so würden sie der Zersetzung anheim gefallen sein. Andererseits herrschte dieser ewige Frost vorher nicht an den Orten, wo sie von ihm ergriffen wurden, denn sie hätten unter solchen Temperaturverhältnissen nicht leben können. Es war also derselbe Augenblick, welcher den Tod dieser Tiere herbeiführte und das Land, welches sie bewohnten, mit Eis überzog. Dies mufs plötzlich und nicht etwa nach und nach eingetreten sein, und was sich so offenbar für diese letzte Katastrophe darthun läfst, ist kaum weniger ersichtlich für die vorangegangenen. Die Zerreifsungen, Biegungen und Kippungen, welche die ältesten Schichten aufweisen, lassen keinen Zweifel darüber, dafs plötzliche und heftig wirkende Ursachen sie in den Zustand versetzt haben, in dem wir sie jetzt erblicken[1]).

Furchtbare Ereignisse haben also oft in die Lebewelt unseres Planeten eingegriffen. Zahllose Geschöpfe wurden das Opfer dieser Katastrophen. Die einen wurden als Bewohner des Festlandes von den Fluten verschlungen, die anderen, welche den Schofs des Meeres bewohnten, wurden aufs Trockne gesetzt gleichzeitig mit dem Meeresboden, der sich plötzlich erhob. Solche Arten wurden für immer vernichtet und hinterliefsen nur einige kaum dem Naturforscher erkennbare Überreste.

Das sind die Schlüsse, zu denen uns die Dinge führen, die wir auf Schritt und Tritt antreffen. Jene grofsen und schrecklichen Umwälzungen haben sich für ein Auge, welches die Geschichte aus ihren Denkmälern zu lesen versteht, überall eingeprägt. Was aber noch mehr in Erstaunen setzt und nicht weniger gewifs ist, das ist, dafs das Leben nicht immer auf der Erde existiert hat, und dafs es dem Naturforscher leicht wird, den Punkt zu erkennen, seitdem es seine Erzeugnisse abzulagern begann.

Erheben wir uns zu den abschüssigen Gipfeln der grofsen Bergketten, so werden die fossilen Überreste des Meeres bald seltener und verschwinden endlich ganz; wir gelangen zu Schichten, welche nicht die geringsten Spuren lebender Wesen mehr enthalten. Indessen zeigen sie durch ihre krystallinische Zusammensetzung, sowie durch ihre Schichtung, dafs sie gleichfalls auf wäss-

[1]) Die heutige Geologie nimmt mit Lyell an, dafs diese Änderungen allmählich vor sich gingen und durch noch jetzt wirkende Ursachen veranlafst wurden. Siehe **44**, S. 259.

rigem Wege entstanden sind, während ihre Steilheit andeutet, dafs auch sie umgestürzt wurden. Ferner geht aus der Art, wie sie schräg unter die versteinerungsführenden Schichten einfallen, hervor, dafs sie früher als die letzteren gebildet wurden.

Eine solche Beschaffenheit weist das Primär- oder Urgebirge auf, welches unsere Kontinente nach verschiedenen Richtungen durchzieht, sich bis über die Wolken erhebt, die Stromgebiete scheidet und in seinem ewigen Schnee die Vorräte birgt, welche die Quellen der Ströme speisen. Aus grofser Entfernung erkennt das Auge in der Auszackung ihrer Kämme und an den steilen Gipfeln, welche dieselben überragen, die Anzeichen ihrer gewaltsamen Erhebung.

Trotz aller anscheinenden Unordnung ist einigen hervorragenden Naturforschern der Nachweis gelungen, dafs hierbei doch eine gewisse Regel herrscht, und dafs diese gewaltigen Schichten, so zerbrochen und aus ihrer Lage gebracht sie auch sind, eine gewisse Reihenfolge innehalten, welche in allen grofsen Gebirgsketten fast dieselbe ist. Der Granit, sagen sie, aus dem die Mehrzahl dieser Ketten besteht, der Granit welcher alles überragt, ist auch das Gestein, das sich unter alle übrigen hinabsenkt; es ist das älteste von allen, die uns zu sehen vergönnt ist. Sei es nun, dafs er seinen Ursprung einem alles bedeckenden Urmeere verdankt, welches einst sämtliche Stoffe in Lösung hielt, sei es, dafs er infolge der Abkühlung einer glutflüssigen oder in Dampfform befindlichen Masse als erste Erstarrungskruste auftrat. Blättrige Gesteine[1]) legen sich dem Granit seitlich an. Schiefer, Porphyre und Sandsteine wechseln damit ab; endlich lagert sich krystallinisches und anderes Kalkgestein ohne Versteinerungen über die Schiefer, als letzte Bildung, welche jenes unbekannte Gewässer, jenes Meer ohne Bewohner, erzeugt hat. Über dieser Grundlage errichteten die Weichtiere und die Pflanzentiere dann bald ihre gewaltigen Anhäufungen aus Schalen oder Korallenkalk.

1) Gneifs und Glimmerschiefer.

# 44. Lyell begründet die neuere Richtung der Geologie. 1830.

## Ch. Lyell, Prinzipien der Geologie[1]).

*Charles Lyell wurde 1797 in Kinnordy geboren, studierte in Oxford und wurde 1831 Professor der Geologie am Kings College. Er starb am 22. Februar 1875. Durch seine epochemachenden „Prinzipien der Geologie“ führte er den Sturz der Katastrophenlehre (Siehe 43) herbei, indem er den jetzigen Zustand der Erdrinde als das Resultat noch heute wirkender Ursachen erklärte, durch deren vieltausendfache Summierung die dem Auge sich darbietenden gewaltigen Veränderungen herbeigeführt worden seien.*

In der Geologie haben bisher grofse Meinungsverschiedenheiten bezüglich der Natur der Ursachen geherrscht, auf welche die früheren Veränderungen der Erdoberfläche zurückgeführt werden müssen. Die ersten Beobachter glaubten, dafs die Denkmäler, welche der Geologe zu entziffern bemüht ist, einer Periode angehörten, in welcher die physikalische Beschaffenheit der Erde gänzlich von der heutigen verschieden gewesen sei. Auch nahm man an, es seien selbst nach dem Auftreten lebender Wesen Ursachen wirksam gewesen, nach Art und Umfang gänzlich verschieden von denen, welche in der Jetztzeit das Wirken der Natur ausmachen. Diese Ansichten haben sich allmählich geändert und sind zum Teil ganz aufgegeben, und zwar geschah dies in dem Mafse, wie die Beobachtungen zunahmen und die Anzeichen früherer Veränderungen besser gedeutet wurden. Manche Erscheinung, die lange als ein Zeichen geheimnisvoller und aufsergewöhnlicher Kräfte gegolten, wurde schliefslich in ihrer Abhängigkeit von denjenigen Gesetzen erkannt, welche noch jetzt die materielle Welt beherrschen. Die Entdeckung dieser unerwarteten Gleichartigkeit hat einige Geologen zu der Annahme geführt, dafs niemals eine Unterbrechung in dem gleichförmigen Verlauf der physikalischen Begebenheiten eingetreten sei. Sie nehmen an, dafs dieselben Ursachen vermöge ihres verschiedenartigen Zusammenwirkens die endlose Mannigfaltigkeit der Wirkungen hervorgebracht haben, deren Spuren die Erdrinde

[1]) Fünftes Kapitel, gekürzt und übersetzt von F. Dannemann nach Charles Lyell, Principles of Geology. London 1830.

aufbewahrt. Dieser Annahme entsprechend setzen sie ferner die Wiederkehr analoger Veränderungen für zukünftige Zeiten voraus.

Ob man nun dieser Lehre zustimmt oder nicht, man wird zugeben müssen, dafs das allmähliche Platzgreifen einer besseren Beurteilung weit zurückliegender Ereignisse in auffälliger Weise einer wachsenden Einsicht in die Werkstatt der Natur parallel läuft. Auf einer früheren Stufe der Erkenntnis, als noch eine grofse Zahl von Erscheinungen für unbegreiflich galt, betrachtete man eine Sonnenfinsternis, ein Erdbeben, eine Überschwemmung oder das Herankommen eines Kometen, sowie viele andere Begebenheiten, von denen man später erkannte, dafs sie in den natürlichen Verlauf der Dinge hineinpafsten, als ebensoviele Wunder. Derselben Täuschung gab man sich geistigen Vorgängen gegenüber hin, und viele derselben wurden der Einwirkung von Dämonen, Geistern, Hexen und anderer unkörperlichen und übernatürlichen Kräfte zugeschrieben. Nach und nach sind viele Rätsel auf geistigem und physischem Gebiete gelöst worden; anstatt sie übernatürlichen und an keine Regel gebundenen Ursachen zuzuschreiben, hat man sie als abhängig von festen unveränderlichen Gesetzen erkannt. Der Forscher endlich gelangt zu der Überzeugung, dafs die wirkenden Ursachen immer dieselben bleiben. Von dem Glauben an diesen Grundsatz geleitet, prüft er die Glaubwürdigkeit der Berichte, welche ihm über verflossene Begebenheiten gemacht werden, und verwirft in manchen Fällen die phantasiegeschmückten Erzählungen früherer Epochen, wenn sie mit der Erfahrung aufgeklärterer Zeiten unvereinbar erscheinen.

Da der Glaube an frühere Störungen des natürlichen Verlaufs der Dinge lange Zeit allgemein herrschend war, so verdient jeder Umstand, der die Geister beeinflufst und den Meinungen eine falsche Richtung gegeben haben könnte, unsere besondere Aufmerksamkeit. Für die ersten Förderer der Geologie war es unmöglich zu richtigen Folgerungen zu gelangen, so lange sie über das Alter der Welt und den Zeitpunkt der ersten Erschaffung lebender Wesen ganz falsche Vorstellungen hatten. Wie phantastisch uns auch manche Ansichten des sechzehnten Jahrhunderts jetzt erscheinen mögen, wir dürfen versichert sein, wenn dieselben Vorurteile jetzt herrschend wären, so würden sie eine ähnliche Kette von Ungereimtheiten zur Folge haben. Stellen wir uns beispielsweise vor, Champollion und die übrigen Gelehrten, welche sich augenblicklich mit der Erforschung der ägyptischen Altertümer befassen, wären mit dem festen Glauben in jenes Land

gekommen, dafs die Ufer des Nils niemals vor dem Beginn des neunzehnten Jahrhunderts von Menschen bewohnt gewesen wären. Zu welch einem ungereimten System würden sie gelangen, wenn sie unter dem Einflufs dieser Vorspiegelung sich den in Ägypten entdeckten Monumenten gegenüber befänden. Der Anblick der Pyramiden, Obelisken, Kolossalstatuen und Tempelruinen würde sie so sehr in Erstaunen setzen, dafs sie ganz unfähig sein würden, einen vernünftigen Gedanken zu fassen. Sie würden im ersten Augenblicke die Errichtung solch staunenswerter Bauten übernatürlichen Kräften der Urzeit zuschreiben.

Wir haben aber hiermit nur eins der vielen Vorurteile kennen gelernt, mit welchen die älteren Geologen zu kämpfen hatten. Selbst wenn sie zugaben, dafs die Erde früher als zuerst angenommen mit lebenden Wesen bevölkert gewesen sei, so hatten sie doch keine Vorstellung davon, dafs der verflossene Zeitraum so unermefslich grofs im Verhältnis zur historischen Ära ist, wie jetzt allgemein zugegeben wird. Wenn wir mit einem Blicke alle in Island, Italien, Sicilien und anderen Teilen Europas während der letzten 5000 Jahre entstandenen vulkanischen Kegel und sämtliche in diesem Zeitraum ausgeflossenen Lavaströme überschauen könnten, sowie die durch Erdbeben veranlafsten Verwerfungen, Senkungen und Hebungen, die den verschiedenen Deltas hinzugefügten Landmassen, wie auch diejenigen, welche das Meer verschlang, und uns dann vorstellten, alle diese Begebenheiten hätten innerhalb des Zeitraumes eines einzigen Jahres stattgefunden, so würden wir ganz andere Vorstellungen von der Wirksamkeit der Kräfte und dem katastrophenartigen Charakter der Umwälzungen bekommen. Falls eine gleiche Summe von Veränderungen sich im nächsten Jahre abspielte, würden wir uns dann wohl der Vorstellung verschliefsen können, dafs eine grofse Krisis hereingebrochen sei. Wenn daher die Geologen die Anzeichen einer Folge von Ereignissen mifsdeuteten, indem sie auf Jahrhunderte schlossen, wo Jahrtausende angezeigt sind und auf Jahrtausende, wo die Sprache der Natur auf Jahrmillionen hindeutet, so konnten sie, wenn sie logisch von solchen falschen Voraussetzungen weiter gingen, zu keinem anderen Schlufs gelangen, als dafs mit der Weltordnung eine völlige Revolution vor sich gegangen sei. Wir würden berechtigt sein, die Errichtung der gewaltigen Pyramiden einer übernatürlichen Kraft zuzuschreiben, wenn wir überzeugt wären, dafs sie in einem Tage erbaut worden seien. Würden wir uns in gleicher Weise vorstellen, dafs eine Bergkette innerhalb eines

kleinen Bruchteils derjenigen Zeit emporgehoben wäre, die ihre Erhebung in Wirklichkeit beansprucht hat, so würden wir zu der Annahme berechtigt sein, dafs die unterirdischen Bewegungen einst viel energischer gewesen seien als jetzt. Wir wissen, dafs ein Erdbeben die Küste Chilis auf hundert Meilen Erstreckung um durchschnittlich fünf Fufs emporzuheben vermag. Eine Folge von zweitausend gleich heftigen Stöfsen könnte also ein Gebirge von hundert Meilen Länge und zehntausend Fufs Höhe entstehen lassen. Würde nun nur einer von diesen Stöfsen im Verlaufe eines Jahrhunderts erfolgen, so würde dies der Ordnung der Dinge, wie sie den Chilenen seit den ältesten Zeiten bekannt ist, entsprechen. Sollten sie aber alle in den nächsten hundert Jahren vor sich gehen, so würde das gesamte Land seiner Bevölkerung beraubt werden, kaum ein Geschöpf oder eine Pflanze bliebe am Leben, und die Oberfläche würde nur einen verworrenen Haufen von Ruinen und anderen Werken der Zerstörung aufweisen.

Die bis jetzt betrachteten Vorurteile können zum gröfsten Teil dem noch unentwickelten Zustande der Wissenschaft zugeschrieben werden. Es giebt aber andere, welche wir mit den ersten geologischen Forschern teilen, und die uns gleichfalls in dem Glauben bestärken, dafs der Verlauf der Naturvorgänge in früheren Zeitaltern sehr verschieden von dem jetzigen gewesen sei.

Die erste und gröfste Schwierigkeit besteht darin, dafs wir uns gewöhnlich nicht unsere sehr ungünstige Stellung vergegenwärtigen, wenn es gilt die Gröfse der jetzt stattfindenden Veränderungen zu ermessen. Wir bewohnen etwa ein Viertel der Erdoberfläche, und dieser Teil ist fast ausschliefslich der Schauplatz des Zerfalls und nicht des Aufbaus. Wir wissen, dafs neue Ablagerungen alle Jahre in Meeren und Seen gebildet werden, und dafs in jedem Jahre neue Felsmassen in der Tiefe der Erde ihren feurig-flüssigen Ursprung nehmen, wir sind aber nicht imstande, diese Vorgänge zu verfolgen. Da wir also nur infolge unserer Überlegung von ihnen wissen, so setzt es einen Aufwand von Scharfsinn und Einbildungskraft voraus, wenn wir ihre Bedeutung richtig abschätzen wollen. Es ist daher nicht überraschend, dafs dieses Abschätzen der Ergebnisse von Vorgängen, die wir nicht anschauen können, nur unvollkommen ist. Werden dann analoge Ergebnisse früherer Epochen unseren Blicken zugänglich, so erkennen wir die Ähnlichkeit nicht. Der Geologe befindet sich in derselben Lage wie jemand, der Steine brechen und nach einem fernen Hafen verfrachten sieht, und sich nun abmüht zu begreifen, was für ein

Gebäude aus diesen Steinen hergerichtet werden wird. Während nämlich der Geologe auf das Land beschränkt ist und die Abtragung der Gebirge sowie ihren Transport nach dem Meere beobachtet, versucht er sich die neuen Ablagerungen auszumalen, welche die Natur am Grunde der Gewässer aufbaut.

Nicht weniger ungünstig ist seine Stellung einem vulkanischen Ausbruche gegenüber, wenn der Geologe zu begreifen sucht, was für Veränderungen die Lavasäule während ihres Emporsteigens in den durchbrochenen Schichten bewirkt hat, oder welche Form die geschmolzene Masse annehmen mag, wenn sie in der Tiefe erstarrt, ferner welche Ausdehnung unterirdische Ströme und die Behälter flüssiger Materie tief unter der Oberfläche haben mögen.

Vor mehr als zwei Jahrhunderten veranlafsten die Muscheln führenden Schichten der subapenninischen Gebirge die ältesten italienischen Geologen zu ihren Spekulationen, und wenige von ihnen hatten die geringste Ahnung davon, dafs ähnliche Ablagerungen sich in dem benachbarten Meere noch immerfort bildeten. Einige gelangten, anstatt zu natürlichen Ursachen ihre Zuflucht zu nehmen, zu der Annahme, diese an organischen Überresten so reichen Schichten seien im Anbeginn der Dinge durch das Werde des Allmächtigen geschaffen worden; andere wieder schrieben die eingeschlossenen Fossilien einer gewissen bildenden Kraft zu, welche in früheren Weltaltern ihren Sitz im Innern der Erde gehabt haben sollte. Endlich erforschte Donati den Boden des Adriatischen Meeres und fand die weitgehendste Ähnlichkeit zwischen den neuen Ablagerungen, die sich dort bildeten, und denjenigen, welche Hügel von über tausend Fufs Höhe in verschiedenen Teilen der Halbinsel zusammensetzten.

Wir wollen jetzt kurz die mannigfachen, früher für unüberwindlich gehaltenen Schwierigkeiten angeben, die in den letzten vierzig Jahren teilweise oder gänzlich durch den Fortschritt der Wissenschaft beseitigt worden sind.

In erster Linie müssen diejenigen, welche die Lehre von der Gleichartigkeit der früheren mit den jetzigen Naturvorgängen verteidigen, unermefsliche Zeiträume als zugestanden annehmen, um die Bildung der sedimentären Schichten aus noch heute wirkenden Ursachen zu erklären. Unbefangenen Köpfen mufs es immer eingeleuchtet haben, dafs eine Folge von Schichten, die in regelmäfsiger Anordnung deutliche Lagen von Muscheln und Korallen aufweisen, nur allmählich durch unmerklichen Zuwachs im Verlaufe gewaltiger Zeiträume gebildet werden konnte. Bevor jedoch die

organischen Überreste genau untersucht und ihre Arten bestimmt worden, war es kaum möglich zu beweisen, dafs die in einem Lande angetroffene Reihe von Ablagerungen nicht gleichzeitig mit der in einem anderen Lande gefundenen gebildet sein mufs. Jetzt sind wir jedoch in der Lage, in zahlreichen Fällen das relative Alter von sedimentären Schichten weit von einander entfernter Gegenden zu bestimmen und aus den organischen Einschlüssen zu beweisen, dafs sie nicht gleichzeitigen Ursprungs sondern nach einander entstanden sind. Oft finden wir, dafs, wenn irgendwo eine Unterbrechung durch plötzlichen Übergang von einer Fauna fossiler Arten zu einer anderen hervortritt, diese Lücke an anderer Stelle durch andere wichtige Schichten ausgefüllt wird. Ein Geologe, dessen Beobachtungen auf England beschränkt geblieben sind, gewöhnt sich daran, die oberen jüngeren Gruppen mariner Ablagerungen unseres Inselreichs als neu anzusehen. Das sind sie zwar auch, vergleichungsweise gesprochen. Hat er jedoch die italienische Halbinsel und Sicilien bereist und dort noch jüngere Schichten Gebirge von mehreren tausend Fufs Höhe bilden sehen, sowie eine lange Reihe vulkanischer Veränderungen beobachtet, die sämtlich jünger sind als irgend eine der regelmäfsigen Schichten, welche sich in bedeutenderem Umfang an dem Aufbau des Grofsbritannischen Bodens beteiligen, so kehrt er mit ganz anderen Vorstellungen über das Alter dieser neueren Ablagerungen zurück, als er sie vorher von den ältesten Schichten Englands besafs.

Eine genauere Untersuchung der erloschenen Vulkane zeigt uns, dafs sie zu verschiedenen Zeiten thätig gewesen, und dafs die Eruptionen der einen Vulkangruppe oft beendet waren, lange bevor andere ihre Arbeit begannen. Die einen waren thätig zur Zeit, als die eine Reihe organischer Wesen existierte, der Ausbruch anderer begann, während Pflanzen und Tiere lebten, die von ersteren verschieden waren. Man mufs deshalb annehmen, dafs die durch unterirdische Bewegungsvorgänge verursachten Erschütterungen der Erdrinde, welche eine andere Gruppe vulkanischer Erscheinungen darstellen, ebenfalls auf einander folgten, und dafs man ihre Gesamtwirkung in eine, längere Zeit beanspruchende Summe von Einzelwirkungen zu zerlegen hat. Ja, wenn wir die Erzeugnisse vulkanischer Thätigkeit genauer untersuchen, seien es nun Lavaströme, die sich unter Wasser gebildet haben oder solche, die auf dem trockenen Lande geflossen sind, so finden wir, dafs Zeiträume von häufig bedeutender Länge ihre Bildung unterbrachen, und dafs die Resultate einer einzigen Eruption nicht gröfser waren als die-

jenigen, welche jetzt während vulkanischer Ausbrüche zu Tage treten. Man mufs daher auch die gleichzeitig oder später erfolgten Erdbeben als ein Nacheinander von Ereignissen betrachten, die ebenfalls in längeren Zwischenräumen stattfanden und an Heftigkeit unsere heutigen Erdbeben, welche in den gewohnten Rahmen der Natur hinein gehören, nicht übertrafen. Aus demselben Grunde müssen wir auch die Lehre von der plötzlichen Erhebung ganzer Kontinente als hinfällig betrachten. Es war gegen alle Analogie anzunehmen, die Natur sei in einer früheren Epoche sparsam mit der Zeit aber von wunderbarer Heftigkeit gewesen, die störenden Kräfte seien nicht im Zaun gehalten worden, sondern hätten plötzlich Tod und Verderben über die ganze Erde oder wenigstens über einen grofsen Teil derselben gebracht.

Die Existenz ungeheurer Süfswasserbecken, wie die Nordamerikanischen Seen, von denen der gröfste mehr als 600 Fufs über dem Spiegel des Meeres gelegen und stellenweise 1200 Fufs tief ist, genügt allein, um uns zu überzeugen, dafs zu einer, wenn auch entfernten Zeit eine Überschwemmung einen beträchtlichen Teil des Amerikanischen Kontinents verwüsten wird. Es ist keine unbekannte Kraft erforderlich, den plötzlichen Ausbruch der eingeschlossenen Wassermenge zu veranlassen. Änderungen des Niveaus und das Auftreten von Spalten, wie sie die Erdbeben seit Beginn unseres Jahrhunderts begleitet haben, oder die Aushöhlung eines Grabens, wie sie der rückwärtsschreitende Niagarafall bewirkt, sind imstande die Hindernisse hinwegzuräumen. Wenn uns daher auch für die letzten drei Jahrtausende die Verwüstung eines grofsen Kontinents durch Überflutung nicht bezeugt wird, so dürfen wir doch, da wir das zukünftige Eintreffen derartiger Katastrophen vorherzusagen vermögen, dieselben als der gegenwärtigen Ordnung der Natur gemäfs betrachten und sie in geologische Betrachtungen über vergangene Epochen einführen, vorausgesetzt dafs wir nicht annehmen, sie seien damals häufiger und allgemeiner gewesen.

Der grofse Gegensatz in dem Aussehen der älteren und neueren Gebirgsarten, in ihrem Gefüge, ihrer Zusammensetzung und dem Grade der Schichtenstörung schien früher einer der stärksten Gründe für die Annahme zu sein, dafs die Ursachen, denen die älteren Gesteine ihr Dasein verdankten, gänzlich verschieden von den jetzt wirkenden Ursachen seien. Dieser Mangel an Übereinstimmung kann jedoch als die natürliche Folge späterer Veränderungen betrachtet werden, seitdem man den ungeheuren Unterschied im Alter der Schichten nachgewiesen hat. Mag auch die Umwandlung

langsam oder fast unmerklich vor sich gegangen sein, sie mufs doch im Verlauf solch ungemessener Zeiträume einen bedeutenden Grad erreicht haben. Aufser der vulkanischen Hitze haben dabei mechanischer Druck, chemische Affinität, das Eindringen von Minerallösungen und Gasen und vielleicht auch die Thätigkeit mancher anderen weniger bekannten Kräfte, wie Elektricität und Magnetismus, mitgewirkt.

Was die Anzeichen von Hebung und Senkung, Bruch und Biegung der Gebirgsmassen anbelangt, so leuchtet ein, dafs jüngere Schichten nicht durch Erdbeben erschüttert werden konnten, ohne dafs die darunterliegende Gesteinsmasse in Mitleidenschaft gezogen wurde. Der Gegensatz in dem relativen Grad der Störung der älteren gegenüber den neueren Schichten ist daher einer der vielen Beweise, dafs die Erschütterungen zu verschiedenen Zeiten stattgefunden haben, und diese Erscheinung bestätigt gerade die Gleichartigkeit der vulkanischen Kräfte anstatt ihre gröfsere Heftigkeit in früheren Zeitaltern zu beweisen.

## 45. Die Entdeckung des Aluminiums. 1827.

### F. Wöhler, Über das Aluminium[1].

*Friedrich Wöhler wurde am 31. Juli 1800 in der Nähe von Frankfurt a. M. geboren, studierte zunächst Medizin, begab sich dann aber nach Stockholm zu Berzelius, um von diesem ganz für die Chemie gewonnen zu werden. Im Jahre 1824 wurde Wöhler Lehrer der Chemie an der Gewerbeschule zu Berlin. Hier entdeckte er das Aluminium und begründete durch seine Synthese des Harnstoffs (1828) die organische Chemie, deren rasche Erfolge vor allem dazu beitrugen, den Glauben an eine besondere Lebenskraft zu erschüttern (Siehe 51). Vom Jahre 1836 bis zu seinem Tode (23. September 1882) bekleidete Wöhler eine Professur in Göttingen.*

Vor einigen Jahren entdeckte Oersted[2]) eine flüchtige Verbindung von Chlor mit dem Radikal[3]) der Thonerde durch

[1]) Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Bd. XI. 1827.

[2]) Über Oersted Siehe 46, S. 270.

[3]) Unter dem Radikal eines Oxyds ist das an Sauerstoff gebundene Element zu verstehen. Dafs die Thonerde eine Sauerstoffverbindung sei, hatte

Anwendung einer Methode, welche darin besteht, dafs man über glühende, mit Kohlenpulver gemengte Thonerde Chlorgas streichen läfst.

Nach dieser Methode kann man sich Chloraluminium leicht und in Menge verschaffen[1]). Ich verfuhr dabei auf folgende Art: Die aus einer heifsen Alaunauflösung durch eine heifse Lösung von kohlensaurem Kali gefällte Thonerde wurde sehr gut ausgewaschen, getrocknet und dieses Hydrat[2]) mit Kohlenpulver, Zucker und Öl zu einem dicken Teige vermischt, der in einem bedeckten Tiegel so lange geglüht wurde, bis alle organische Materie zerstört war. Auf diese Art läfst sich bekanntlich eine Substanz sehr innig mit Kohlenstoff mengen. — Dieses schwarze Gemenge wurde noch heifs in eine Porzellanröhre gefüllt, und diese in einen länglichen Ofen gelegt. Auf der einen Seite war die Porzellanröhre mit einem Rohr voll geschmolzenen Chlorcalciums[3]) und einem Chlorentwicklungsapparat verbunden; auf der anderen mündete sie in einen kleinen gläsernen Ballon, der mit einer Ableitungsröhre versehen war. Als sich der Apparat mit Chlorgas gefüllt hatte, wurde die Röhre zum Glühen gebracht, wobei sich sehr bald Chloraluminium zu bilden begann. In dem Ballon setzte sich nach und nach ziemlich viel Chloraluminium pulverförmig ab. Nachdem die Operation etwa $1^1/_2$ Stunden gedauert hatte, traten Zeichen ein, dafs das Chloraluminium die ungefähr $^1/_2$ Zoll weite Porzellanröhre an der Stelle, wo sie in den Ballon mündete, verstopft hatte, weshalb der Versuch unterbrochen werden mufste.

Auf der Zersetzbarkeit des Chloraluminiums durch Kalium und auf der Eigenschaft des Aluminiums, sich nicht in Wasser zu oxydieren, beruht nun die Art, wie mir die Darstellung dieses Metalles gelang. Erwärmt man in einer Glasröhre ein kleines

---

schon Davy vermutet, nachdem er Kali und Natron als Oxyde erkannt hatte (Siehe **42**, S. 253). Die Zusammensetzung der Thonerde wird durch die Formel $Al_2O_3$ wiedergegeben.

1) Die Bildung des Chloraluminiums verläuft nach folgender Gleichung:

$$Al_2O_3 + 3C + 6Cl = 3CO + 2AlCl_3.$$

Die Kohle allein vermag der Thonerde ($Al_2O_3$) den Sauerstoff nicht zu entziehen. Dies geschieht erst, wenn das Chlor gleichzeitig den zweiten Bestandteil der Thonerde, das Aluminium, in Angriff nimmt.

2) Das Hydrat oder Hydroxyd ist die Verbindung eines Metalls mit Sauerstoff und Wasserstoff. Das Hydrat des Aluminiums hat die Zusammensetzung $Al(OH)_3$. Beim Erhitzen geht es unter Abgabe von Wasser in das Oxyd über: $2Al(OH)_3 = Al_2O_3 + 3H_2O$.

3) Zum Trocknen des Chlorgases.

Stückchen Chloraluminium mit Kalium, so wird die Röhre durch die heftige, von starkem Erglühen begleitete Einwirkung zerschmettert. Ich versuchte dann diese Zersetzung in einem kleinen Platintiegel, worin sie ganz gut gelang. Die Einwirkung ist immer so heftig, dafs man den Deckel mit einem Drahte befestigen mufs, wenn er nicht abgeworfen werden soll, und dafs in dem Augenblicke der Reduktion der nur schwach von aufsen erhitzte Tiegel plötzlich von innen heraus glühend wird. Das Platin wird dabei so gut wie gar nicht angegriffen. Um indessen doch vor einer möglichen Beimengung von abgelöstem Platin zu dem reduzierten Aluminium ganz sicher zu sein, machte ich diese Reduktionsversuche nachher immer in einem kleinen Porzellantiegel und verfuhr dabei auf folgende Art: Man legt auf den Boden des Tiegels einige vom anhängenden Steinöl wohl befreite Stücke Kalium und bedeckt diese mit, dem Volumen nach ungefähr gleichviel, Chloraluminium-Stückchen. Hierauf erhitzt man den mit seinem Deckel bedeckten Tiegel anfangs gelinde, damit er nicht bei der inwendig vor sich gehenden Wärmeentwicklung zerspringt, und dann stärker. Die reduzierte Masse ist in der Regel völlig geschmolzen und schwarzgrau. Man wirft den völlig erkalteten Tiegel in ein grofses Glas voll Wasser, worin sich die Salzmasse[1]) auflöst und dabei ein graues Pulver abscheidet, das bei näherer Betrachtung, besonders im Sonnenscheine, aus lauter kleinen Metallflittern zu bestehen scheint. Nachdem es sich abgesetzt hat, giefst man die Flüssigkeit ab, bringt das Pulver auf ein Filter, wäscht es mit kaltem Wasser aus und trocknet es. Es ist das Aluminium.

Das Aluminium bildet ein graues Pulver, sehr ähnlich dem Pulver von Platin; meist sind darin auch nach dem Trocknen metallglänzende Flittern zu bemerken, und einige Male erhielt ich kleinere, etwas zusammenhängende Massen, die an mehreren Stellen zinnweifsen Metallglanz hatten. Unter dem Polierstahl nimmt es sehr leicht vollkommen zinnweifsen Metallglanz an.

Erhitzt man das Aluminium bis zum Glühen an der Luft, so entzündet es sich und verbrennt mit grofsem Glanze zu weifser, ziemlich harter Thonerde[2]). Streut man das pulverförmige Aluminium in eine Flamme, so bildet jedes Stäubchen einen sprühenden

1) Das Salz ist Chlorkalium. Die Reduktion des Chloraluminiums zu Aluminium findet nach folgender Gleichung statt: $AlCl_3 + 3K = 3KCl + Al$.

2) $2Al + 3O = Al_2O_3$.



Funken, ebenso glänzend wie von Eisen, das in Sauerstoffgas verbrennt. In reinem Sauerstoffgas verbrennt das Aluminium mit einem Glanze, den das Auge kaum ertragen kann, und mit einer so starken Wärmeentwicklung, dafs die dabei entstehende Thonerde wenigstens teilweise schmilzt. Die so geschmolzenen Stückchen Thonerde sind gelblich und gewifs ebenso hart wie die natürlich vorkommende, krystallisierte Thonerde, nämlich der Korund; sie ritzen nicht blofs Glas, sondern sie schneiden dasselbe.

Im Wasser oxydiert sich das Aluminium bei gewöhnlicher Temperatur nicht [1], und Wasser kann von einem darin liegenden blanken Aluminiumblättchen abdunsten, ohne dafs letzteres seinen Glanz verliert. Erwärmt man aber das Wasser bis fast zum Kochen, so fängt das Metall an, schwach Wasserstoffgas zu entwickeln [2].

Von konzentrierter Schwefelsäure und Salpetersäure wird das Aluminium bei gewöhnlicher Temperatur nicht angegriffen. In erhitzter Schwefelsäure löst es sich unter Entwicklung von schwefligsaurem Gas rasch auf [3]. In verdünnter Salzsäure löst es sich unter Wasserstoffentwicklung auf.

In einer selbst schwachen Auflösung von kaustischem Kali oder Natron löst sich dieses Metall ganz leicht unter Wasserstoffentwicklung klar auf [4].

In einem Strom von Chlorgas erhitzt, entzündet sich das Aluminium und verbrennt zu Chloraluminium.

Läfst man Schwefel auf glühendes Aluminium fallen, sodafs es sich in einer Atmosphäre von Schwefelgas befindet, so geht die Vereinigung unter sehr lebhaftem Erglühen der ganzen Masse vor sich. — Das Schwefelaluminium ist eine schwarze Substanz, die unter dem Polierstahle eisenschwarzen Metallglanz annimmt. An der Luft riecht es sehr stark nach Schwefelwasserstoffgas. In reines Wasser gebracht, entwickelt es rasch Schwefelwasserstoffgas unter Abscheidung grauer Thonerde [5].

[1]) Im Gegensatz zu Kalium und Natrium, die sich im Wasser auf Kosten des Sauerstoffs desselben oxydieren (Siehe 42, S. 250 u. 252).

[2]) Bei höherer Temperatur wird also das Wasser durch Aluminium in derselben Weise wie durch Kalium und Natrium zersetzt. Bei der Rotglut vermag auch Eisen das Wasser unter Entwicklung von Wasserstoff zu zerlegen: $3Fe + 4H_2O = Fe_3O_4 + 8H$.

[3]) Unter Bildung von schwefelsaurem Aluminium, $Al_2(SO_4)_3$.

[4]) $Al + 3NaOH = 3H + Al(ONa)_3$.

[5]) $Al_2S_3 + 3H_2O = Al_2O_3 + 3H_2S$.

# 46. Die Entdeckung des Elektromagnetismus. 1820.

## H. Chr. Oersted, Versuche über die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel[1]).

*Hans Christian Oersted wurde 1777 in Dänemark geboren und bekleidete seit 1817 die Professur der Physik in Kopenhagen, wo er im Jahre 1851 starb. Ihm gelang es zuerst, die schon von Aepinus vermutete (Siehe **27**, S. 157) und später von Faraday (Siehe **47**) weiter verfolgte enge Beziehung zwischen der Elektricität und dem Magnetismus nachzuweisen, wie aus der hier mitgeteilten wichtigen Abhandlung Oersteds hervorgeht.*

Die ersten Versuche über den Gegenstand, den ich aufzuklären unternehme, sind in den Vorlesungen angestellt worden, welche ich im verflossenen Winter über Elektricität und Magnetismus gehalten habe. Aus diesen Versuchen schien zu erhellen, daſs die Magnetnadel sich mittelst des galvanischen Apparats aus ihrer Lage bringen lasse, und zwar bei geschlossenem galvanischen Kreise. Da aber diese Versuche mit einem wenig kräftigen Apparate angestellt waren, so unternahm ich es, dieselben mittelst eines groſsen galvanischen Apparats zu wiederholen und zu vermehren.

Derselbe besteht aus 20 kupfernen Zellen, die jede 12 Zoll lang, 12 Zoll hoch, $2^1/_2$ Zoll breit und mit zwei Kupferstreifen versehen ist, welche den Kupferstab tragen, der die in der Flüssigkeit der benachbarten Zelle schwebende Zinkplatte hält. Das Wasser, womit die Zellen angefüllt wurden, war mit $^1/_{60}$ seines Gewichtes Schwefelsäure und mit ebenso viel Salpetersäure versetzt, und der eingetauchte Teil jeder Zinkplatte war ein Quadrat von 10 Zoll Seitenlänge. Doch können auch kleinere Apparate gebraucht werden, wenn sie nur einen Draht zum Glühen zu bringen vermögen.

[1]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 63. Herausgegeben von J. A. v. Oettingen. Leipzig, Verlag von Wilh. Engelmann 1895.

Die Abhandlung erschien im Jahre 1820 unter dem Titel „Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam. Sie wurde von Gilbert übersetzt und in seinen Annalen (Bd. LXVI) veröffentlicht. Diese Übersetzung wurde mit geringen stilistischen Änderungen und wesentlich gekürzt hier zu Grunde gelegt.

Man denke sich die beiden entgegengesetzten Enden des galvanischen Apparates durch einen Metalldraht verbunden. Diesen werde ich der Kürze halber stets den Leiter nennen.

Man bringe ein geradliniges Stück dieses Leiters in horizontaler Lage über eine gewöhnliche Magnetnadel, sodafs es ihr parallel ist. Die Magnetnadel wird dann in Bewegung kommen, und zwar wird sie unter dem vom negativen Pole des galvanischen Apparates herkommenden Teile des Leiters nach Westen abweichen[1]). Ist die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel nicht mehr als $^5/_4$ Zoll, so beträgt diese Abweichung ungefähr 45°. Bei gröfserer Entfernung nehmen die Abweichungs-Winkel ab. Übrigens ist die Abweichung verschieden je nach der Stärke des Apparates.

Der Leiter kann nach Osten oder nach Westen bewegt werden, wenn er nur immer der Nadel parallel bleibt, ohne dafs dieses einen anderen Einflufs auf den Erfolg hat, als dafs die Abweichung kleiner wird.

Der Leiter kann aus mehreren vereinigten Drähten oder Metallstreifen bestehen. Die Natur des Metalles verändert den Erfolg nicht, es sei denn vielleicht hinsichtlich der Gröfse. Wir haben Drähte aus Platin, Gold, Silber, Messing und Eisen, ferner Zinn- und Blei-Streifen und Quecksilber mit gleichem Erfolge gebraucht. Wird der Leiter durch Wasser unterbrochen, so bleibt nicht alle Wirkung aus, es sei denn, die Wasserstrecke sei mehrere Zoll lang.

Der Leiter wirkt auf die Magnetnadel durch Glas, durch Metalle, Holz, Wasser und Harz, durch thönerne Gefäfse und durch Steine hindurch; denn als wir zwischen den Leiter und die Nadel eine Glastafel, eine Metallplatte oder ein Brett gebracht hatten, blieb der Erfolg nicht aus; ja selbst alle drei vereinigt schienen die Wirkung kaum zu schwächen, ebensowenig ein irdenes Gefäfs, selbst wenn es voll Wasser war. Unsere Versuche haben auch gezeigt, dafs die erwähnten Wirkungen nicht verändert werden, wenn man eine Magnetnadel nimmt, die sich in einer mit Wasser gefüllten Messingbüchse befindet.

Wenn der Leiter in einer horizontalen Ebene unter der Magnetnadel angebracht ist, so gehen alle angegebenen Wirkungen

[1]) D. h. wenn der Nordpol der Nadel zum negativen Pole des galvanischen Apparates zeigt und die Nadel sich gleichzeitig unter dem Draht befindet, weicht ihr Nordpol nach Westen ab.



nach entgegengesetzter Richtung vor sich, als wenn er in einer über derselben befindlichen horizontalen Ebene sich befindet, sonst aber auf ganz gleiche Weise.

Dreht man den Leiter in der horizontalen Ebene, sodafs er allmählich immer gröfsere Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, so wird die Abweichung der Magnetnadel vom magnetischen Meridian vermehrt, wenn das Drehen des Drahtes dem Orte der Magnetnadel zuwärts geschieht; sie nimmt dagegen ab, wenn das Drehen von diesem Orte fort erfolgt[1].

Eine Nadel aus Messing, welche nach Art der Magnetnadel aufgehängt ist, kommt durch die Wirkung des Leiters nicht in Bewegung. Auch eine Nadel aus Glas oder Gummi bleibt bei ähnlichen Versuchen in Ruhe.

Der elektrische Leiter vermag also nur auf die magnetischen Teile der Materie zu wirken.

Dafs der elektrische Strom nicht in dem leitenden Drahte eingeschlossen, sondern zugleich in dem umgebenden Raume ziemlich weithin verbreitet ist, ergiebt sich aus den angeführten Beobachtungen hinlänglich.

# 47. Die Entdeckung der galvanischen und magnetischen Induktion. 1832.

## Faraday's Experimentaluntersuchungen über Elektricität[2].

*Michael Faraday wurde am 22. September 1791 in der Nähe von London als Sohn eines Hufschmieds geboren. Durch Talent und Fleifs brachte er es in kurzer Zeit vom Buchbindergehülfen zum Mitglied der Royal Society. Zahlreiche chemische und physikalische Entdeckungen sind ihm zu verdanken; durch seine glänzenden*

[1]) Auf diesem Prinzipe beruht die zur Messung der Stromstärke dienende Sinusbussole, bei welcher man den Leiter so lange dreht, bis er mit der Nadel wieder in eine Ebene fällt. Die Stromstärke ist dann proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels.

[2]) Philosophical Transactions f. 1832, Teil I, S. 125. Hier wurde die in Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Bd. XXV, S. 91 u. f. gegebene Übersetzung zu Grunde gelegt. Dieselbe wurde auf Grund einer Vergleichung mit der Originalabhandlung kleineren den Ausdruck betreffenden Abänderungen unterzogen.

*Untersuchungen über die Elektricität, denen nachfolgender Abschnitt entnommen ist, hat er die neuere Elektricitätslehre begründet; Faraday starb am 25. August 1867, nachdem er sich einige Jahre zuvor auf ein ihm von seiner Königin geschenktes Besitztum zurückgezogen hatte.*

## I. Galvanische Induktion.

Ein Kupferdraht von 203 Fufs Länge wurde um eine grofse Walze von Holz gewickelt und zwischen seinen Windungen, indes durch Zwirnsfäden an jeder direkten Berührung gehindert, ein zweiter ähnlicher Draht von gleicher Länge angebracht. Der eine dieser Schraubendrähte wurde mit dem Galvanometer, der andere mit einer Batterie von hundert Plattenpaaren verbunden. Im Momente der Verbindung des Drahtes mit der Batterie war eine plötzliche Wirkung auf das Galvanometer sichtbar, und eine ähnliche schwache Wirkung zeigte sich, als diese Verbindung aufgehoben wurde. Solange indes der elektrische Strom fortfuhr durch den einen Schraubendraht zu gehen, konnte keine Spur irgend einer Wirkung bemerkt werden, obschon die Batterie sehr kräftig war, wie aus der Erhitzung des ganzen Schraubendrahts und aus den glänzenden Funken bei der Entladung mittelst Kohlenspitzen hervorging.

Die Wiederholung dieses Versuches mit einer Batterie von 120 Plattenpaaren gab keine anderen Resultate. Allein es zeigte sich hier, wie schon früher, dafs die Ablenkung der Nadel im Momente des Schliefsens von entgegengesetzter Richtung war, wie die ähnliche schwache Ablenkung im Momente des Öffnens der Kette.

Die Resultate, welche ich späterhin mit Magneten erhielt, haben mich zu der Ansicht geführt, dafs der Volta'sche Strom, der durch den einen Draht geht, wirklich in dem zweiten Draht einen ähnlichen Strom erregt, der aber nur von augenblicklicher Dauer ist und seiner Natur nach mehr Ähnlichkeit hat mit der elektrischen Welle, die beim Entladen einer Leydener Flasche überspringt, als mit dem Strom einer Volta'schen Batterie; deshalb vermutete ich auch, dafs er, obgleich er kaum auf das Galvanometer wirkt, dennoch Stahlnadeln zu magnetisieren vermöge.

Diese Vermutung bestätigte sich. Als nämlich anstatt des Galvanometers ein um eine Glasröhre gewundener kleiner Schraubendraht genommen (d. h. mit dem einen grofsen Schraubendraht

verbunden), in die Glasröhre eine Stahlnadel gesteckt, darauf der induzierende Draht wie früher mit der Batterie verbunden und nun, vor der Aufhebung dieser Verbindung, die Nadel fortgezogen ward, erwies sie sich magnetisch.

Wurde die Verbindung mit der Batterie zuerst vollzogen, dann eine unmagnetisierte Nadel in den kleinen Schraubendraht gesteckt, und nun die Verbindung wieder aufgehoben, so hatte die Nadel einen, wie es schien, ebenso starken Magnetismus wie zuvor erhalten, aber ihre Pole lagen umgekehrt.

Als die unmagnetisierte Nadel vor dem Verbinden des induzierenden Drahtes mit der Batterie in den kleinen Schraubendraht gesteckt, und bis nach der Aufhebung jener Verbindung darin gelassen wurde, besafs sie wenig oder keinen Magnetismus, da die erste Wirkung durch die zweite fast vernichtet worden war.

Bei den vorhergehenden Versuchen waren die Drähte nahe bei einander befestigt, und wenn man die Wirkung haben wollte, wurde der induzierende Draht mit der Batterie in Verbindung gesetzt. Jetzt wurde die Induktion auf einem anderen Wege bewerkstelligt. Ein Kupferdraht wurde in weiten Zickzack-Biegungen ähnlich einem W auf der einen Seite eines Brettes ausgespannt und ebenso ein zweiter Draht auf einem anderen Brette befestigt; ferner wurde der eine dieser Drähte mit dem Galvanometer und der andere mit der Volta'schen Batterie verbunden. Als nun das erste Brett mit seinem Drahte dem zweiten rasch genähert wurde, wich die Nadel ab, ebenso auch beim Wegziehen, indes nach der entgegengesetzten Seite. Geschah das Nähern und Entfernen der Bretter in Übereinstimmung mit den Schwingungen der Magnetnadel, so wurden diese sehr grofs; hörte man aber mit dem Hin- und Wegführen des Drahtes auf, so kehrte die Nadel auch bald in ihre gewöhnliche Lage zurück.

Bei gegenseitiger Annäherung der Drähte war der induzierte Strom von entgegengesetzter Richtung mit dem induzierenden Strom. Bei der Entfernung der Drähte von einander hatten beide Ströme dagegen gleiche Richtung. Blieben die Drähte in unverändertem Abstande zu einander, so war auch kein induzierter Strom vorhanden.

## II. Elektricitätserregung durch Magnetismus (Magnetinduktion).

Aus einer runden Stange weichen Eisens von $^7/_8$ Zoll Dicke wurde ein Ring von sechs Zoll äufserem Durchmesser geschmiedet.

Ein neun Zoll langes Stück dieses Ringes wurde mit drei Kupferdrähten, jeder von 24 Fufs Länge und 1/20 Zoll Dicke, umwickelt, sodafs die Drahtlagen unter sich und von dem Eisen isoliert waren. Das System dieser Drähte, die einzeln wie verbunden angewandt werden konnten, ist in Fig. 33 mit A bezeichnet. B bedeutet ein zweites, in gleicher Richtung wie A gewickeltes System von Drahtwindungen, an beiden Enden von A durch eine unbedeckte Strecke Eisen von einem halben Zoll Länge geschieden.

Die Spirale B wurde durch Kupferdrähte mit einem drei Fufs vom Ringe entfernten Galvanometer verbunden, und die Drähte A, mit ihren Enden zu einem einzigen Schraubendraht verknüpft, mit einer Batterie von 10 Plattenpaaren in Verbindung gesetzt. Augenblicklich zeigte sich eine Wirkung auf das Galvanometer, und zwar eine bei weitem stärkere als zuvor, da eine zehnmal kräftigere Batterie ohne Mitwirkung von Eisen angewandt ward. Allein obgleich die Batterie geschlossen blieb, war die Wirkung doch nicht dauernd; bald kehrte die Nadel in ihre natürliche Lage zurück. Beim Öffnen der Kette wurde die Nadel indes wieder mächtig abgelenkt, und zwar nach entgegengesetzter Seite wie zuvor.

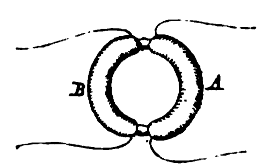


Fig. 33 (Aus Poggendorffs Annalen, Bd. 25. Taf. III, Fig. 1).

Die Ablenkung beim Schliefsen zeigte immer einen induzierten Strom an, der dem der Batterie entgegengesetzt gerichtet war; beim Öffnen der Kette hatte dagegen der induzierte Strom immer gleiche Richtung mit dem der Batterie.

Es wurde nun eine derartige Einrichtung getroffen, dafs sich die früheren Versuche über Induktion durch Volta'sche Ströme mit den soeben beschriebenen verknüpfen liefsen. Zu dem Ende wurde ein hohler Papp-Cylinder mit acht isolierten Schraubendrähten umwickelt; vier derselben wurden, Ende an Ende geknüpft, mit dem Galvanometer verbunden, die vier dazwischen befindlichen aber, nachdem sie ebenfalls mit ihren Enden vereint waren, zur Schliefsung der Batterie von 100 Plattenpaaren benutzt. Mit dieser Vorrichtung war die Wirkung auf das Galvanometer kaum merklich, doch konnten mit dem induzierten Strom Stahlnadeln magnetisiert werden. Als aber ein 7/8 Zoll dicker und 12 Zoll langer Cylinder von weichem Eisen in die mit den Schraubendrähten umwickelte Papprröhre gesteckt wurde, wirkte der induzierte Strom mächtig und mit all den schon beschriebenen

Erscheinungen auf das Galvanometer ein, auch besafs er das Vermögen, Stahl zu magnetisieren, augenscheinlich in noch höherem Grade, als wenn kein Eisencylinder zugegen gewesen wäre.

Wurde statt des Eisenstabes ein gleicher Stab von Kupfer genommen, so war keine Wirkung da, die nicht schon die Schraubendrähte für sich ausgeübt hätten.

Ähnliche Wirkungen wurden nun durch gewöhnliche Magnetstäbe hervorgebracht. Es wurden nämlich die auf der Papprõhre befindlichen Schraubendrähte, nachdem sie zu einem einzigen Draht verknüpft waren, durch zwei Kupferdrähte von fünf Fufs Länge mit dem Galvanometer verbunden, alsdann wurde in die Axe der Röhre ein Cylinder von weichem Eisen gesteckt und nun zwei Magnetstäbe, von denen jeder 24 Zoll lang war, mit den entgegengesetzten Polen verbunden und mit den anderen beiden Polen auf die Enden des Eisencylinders gelegt, sodafs dieser zu einem Magneten werden mufste. Siehe Fig. 34.

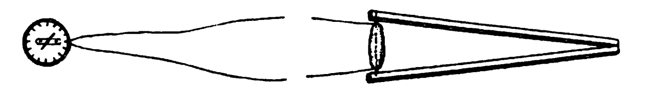


Fig. 34 (Aus Poggendorffs Annalen, Bd. 25, Taf. III, Fig. 2).

Durch Fortnahme oder Umkehrung der Magnetstäbe konnte der Magnetismus des Eisencylinders nach Belieben aufgehoben oder umgekehrt werden. Bei dem Auflegen der Magnetstäbe auf den Eisencylinder wich die Nadel ab, bei fortdauernder Berührung desselben aber kehrte sie in ihre anfängliche Lage zurück; bei der Aufhebung des Kontakts wurde sie abermals abgelenkt, aber nach entgegengesetzter Seite wie zuvor, und dann nahm sie wieder die ursprüngliche Lage an.

Da man vielleicht glauben könnte, dafs der in den vorhergehenden Versuchen erregte momentane Strom durch eine besondere, bei der Bildung des Magneten stattfindende Wirkung, und nicht durch die blofse Annäherung, hervorgebracht worden sei, so wurde der folgende Versuch angestellt. Die Schraubendrähte wurden in leitende Verbindung gesetzt, und die so entstandenen zwei Hauptenden mit dem Galvanometer verknüpft. Der weiche Eisenstab wurde entfernt, und statt dessen ein cylindrischer Magnetstab von $^3/_4$ Zoll Durchmesser und $8^1/_2$ Zoll Länge angewandt. Dieser Magnet wurde in die Axe des Schraubendrahtes gestellt, und, nachdem die Galvanometer-Nadel zur Ruhe gekommen war,

plötzlich hineingeschoben. Augenblicklich wich die Nadel ab, und zwar in gleicher Richtung, als wenn der Magnet durch eins der vorhergehenden Verfahren erst gebildet worden wäre. Blieb der Magnet darin, so nahm die Nadel wiederum ihre erste Stellung an, wurde er herausgezogen, so wich sie nach entgegengesetzter Richtung ab. Die Ablenkungen waren nicht grofs, indes konnte die Nadel durch ein in Übereinstimmung mit ihren Bewegungen wiederholtes Hineinstecken und Herausziehen des Magneten zuletzt zu Schwingungen von 180° gebracht werden.

## 48. Die Erfindung der Photographie.

### Talbot, Über ein Verfahren, mit Hilfe des Lichtes zu zeichnen. 1835[1]).

*Die Photographie hat sich aus den bescheidensten Anfängen zu einem wichtigen Mittel der Kultur und wissenschaftlichen Forschung entwickelt. Ihr Erfinder ist Nièpce, der in Gemeinschaft mit Daguerre photographische Bilder auf Silberplatten erzeugte und diese 1827 der Royal-Society vorlegte. Talbot (geb. 1800) erfand um das Jahr 1835 die Papierphotographie. Seine hierauf bezügliche Abhandlung, welcher nachfolgende Abschnitte entnommen sind, wurde in der Royal-Society am 31. Januar 1839 gelesen. Näheres über die Entwicklung der Photographie siehe Bd. II.*

Im Frühlinge des Jahres 1834 begann ich ein Verfahren auszuarbeiten, welches ich mir einige Zeit vorher ausgedacht hatte. Dasselbe bestand in der praktischen Verwertung einer den Chemikern seit langer Zeit bekannten merkwürdigen Eigenschaft des salpetersauren Silbers, der Eigenschaft nämlich, den violetten Lichtstrahlen ausgesetzt seine Farbe zu ändern. Dieses Verhalten schien mir in folgender Weise praktisch verwertbar zu sein.

Überzieht man einen Bogen Papier mit einer hinreichenden Menge Silbernitrat und setzt denselben dem Sonnenschein aus, nachdem man einen Gegenstand vor dem Papier angebracht hat, der einen scharf begrenzten Schatten wirft, so wird das Licht auf das übrige Papier wirken und dasselbe schwärzen, während die im

1) Aus „Some account of the art of photogenic drawing by Henry Fox Talbot. London 1839", übersetzt von Friedrich Dannemann.



Schatten befindlichen Teile weifs bleiben. Ich erwartete, dafs sich auf diese Weise ein Bild erzeugen liefse, das eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Gegenstande zeigen würde, von dem es herrührt. Indessen machte ich mich auch auf die Notwendigkeit gefafst, derartige Bilder in der Brieftasche aufbewahren zu müssen, und sie nur bei Kerzenlicht zu betrachten, da im Tageslichte derselbe Vorgang, der die Bilder hervorgerufen, sie auch infolge der Schwärzung des übrigen Papiers zerstört hätte. Dies war mein leitender Gedanke, bevor derselbe durch die Erfahrung bereichert und in die richtigen Bahnen gelenkt wurde.

Die ersten Gegenstände, welche ich auf diese Weise zu kopieren suchte, waren Blumen und Blätter. Ich wählte dieselben teils in frischem Zustande, teils entnahm ich sie meinem Herbarium. Diese Gegenstände werden scharf und getreu wiedergegeben bis auf das Geäder der Blätter und die feinen Haare, welche die Pflanzen bekleiden.

Als ich mich zuerst mit diesen Versuchen befafste und bemerkte, wie reizend die Bilder ausfielen, welche auf diese Art durch die Einwirkung des Lichtes erhalten wurden, bedauerte ich um so mehr, dafs sie nur von kurzer Dauer sein konnten und fafste den Entschlufs, womöglich eine Methode zu finden, um sie haltbar oder doch wenigstens beständiger zu machen. Folgende Betrachtungen überzeugten mich von der Möglichkeit, ein geeignetes Verfahren zu entdecken.

Das Silbernitrat, welches vom Lichte geschwärzt wurde, ist nicht mehr dieselbe chemische Substanz wie vorher. Wenn daher das dem Sonnenlichte ausgesetzte Bild einem chemischen Prozess unterworfen wird, so werden die weifsen und dunklen Partien in verschiedener Weise beeinflufst werden. Es ist nicht wahrscheinlich, dafs nach der chemischen Behandlung die unveränderten und die geschwärzten Stellen des Bildes noch weiter einer Veränderung unterliegen werden. Sollte letzteres aber doch der Fall sein, so läfst sich nicht annehmen, dafs diese Änderung jetzt auch darauf hinauslaufen wird, den verschiedenen Partien das gleiche Aussehen zu verleihen. Angenommen, dafs sie jetzt eine Verschiedenheit beibehalten, so wird auch das Bild sichtbar bleiben, und unser Zweck erfüllt sein.

Meine ersten Versuche hatten keinen Erfolg. Nach einiger Zeit aber entdeckte ich ein Verfahren, das sich vollkommen eignete, und bald darauf ein zweites, welches das erste hinsichtlich der Schönheit der erhaltenen Lichtbilder wohl noch übertrifft.

Der chemische Vorgang, den ich das Fixieren nenne, ist bei weitem wirkungsvoller, als man ahnen konnte. Das zuvor so lichtempfindliche Papier wird durch denselben vollkommen unempfindlich. Ich bin imstande Stücke vorzulegen, die eine Stunde lang dem vollen Schein der sommerlichen Sonne ausgesetzt wurden. Das Bild hat dadurch gar nicht gelitten, sondern zeigt seine weifsen Stellen in vollkommener Reinheit.

Die Erscheinung, über welche ich hiermit in der Kürze berichtet habe, scheint mir gewissermafsen den Charakter des Wunderbaren zu besitzen, und zwar in solchem Grade wie irgend eine Thatsache, welche die physikalische Forschung bisher zu unserer Kenntnis gebracht hat. Das vergänglichste Ding, der Schatten nämlich, das sprüchwörtlich gewordene Symbol alles dessen, was dahinschwindet und nur von augenblicklicher Dauer ist, läfst sich für alle Zeit in einer Lage festhalten, die ihm nur für einen Augenblick zuzukommen schien.

Diese bemerkenswerte Entdeckung, welchen Wert sie auch immer nach der praktischen Seite erhalten mag, beweist aufs neue den Wert des induktiven Verfahrens der modernen Wissenschaft. Indem die letztere von dem Eintreten ungewöhnlicher Erscheinungen Notiz nimmt, sie durch Versuche verfolgt und die Bedingungen der letzteren ändert, bis das Naturgesetz enthüllt ist, führt sie uns endlich zu ganz unerwarteten Resultaten, die von unserer gewöhnlichen Erfahrung weitab liegen, ja sogar im Gegensatz zu dem gemeinen Denken stehen. Von dieser Art ist die Thatsache, dafs wir imstande sind, den flüchtigen Schatten vermittelst eines Stückes Papier aufzufangen, ihn hier festzuhalten und innerhalb einer Minute derart zu fixieren, dafs er sich nicht mehr zu ändern vermag, selbst nicht, wenn er dem Sonnenlichte wieder ausgesetzt wird, dem er doch seinen Ursprung verdankt.

Vielleicht die merkwürdigste Anwendung dieses neuen Verfahrens ist diejenige, über welche ich jetzt berichten will. Wenigstens überraschte sie die Personen am meisten, welche meine Sammlung durch das Licht erzeugter Bilder betrachtet haben.

Jedermann ist mit den reizenden Erscheinungen vertraut, welche durch eine Camera obscura hervorgerufen werden, und hat das lebende Bild der aufserhalb befindlichen Gegenstände bewundert, welches dieser Apparat entwirft. Es kam mir oft in den Sinn, dafs die Möglichkeit, die liebliche Scenerie, welche der Augenblick auf das Papier hinzaubert, oder auch nur die Umrisse derselben, die Lichter und Schatten, wenn auch der Farbe entkleidet, fest-

zuhalten, ein Resultat von höchstem Interesse sein würde. Wie sehr ich auch zuerst versucht war, diese Idee als einen wissenschaftlichen Traum zu betrachten, nachdem es mir gelungen war, durch das Sonnenmikroskop erzeugte Bilder mit Hilfe eines besonders empfindlichen Papiers zu fixieren, zweifelte ich nicht länger, dafs sich in ähnlicher Weise die Gegenstände einer Landschaft kopieren lassen würden.

Ich stellte mir aus einer grossen Kiste eine Camera obscura her und entwarf vermittelst eines an dem einen Ende angebrachten guten Objektivs ein Bild auf der entgegengesetzten Seite. Nachdem ich den Apparat mit lichtempfindlichem Papier versehen, nahm ich ihn an einem Sommernachmittag mit hinaus und stellte ihn 100 Ellen von einem Gebäude auf, das günstig von der Sonne beleuchtet wurde. Eine oder zwei Stunden nachher öffnete ich die Kiste und fand auf dem Papier ein sehr deutliches Bild des Gebäudes mit Ausnahme derjenigen Teile desselben, welche im Schatten gelegen hatten.

Im Sommer des Jahres 1835 machte ich auf diese Weise eine grofse Anzahl von Aufnahmen meines Landhauses, das für diesen Zweck gut gelegen ist, und dieses Gebäude wird das erste sein, das je sein eigenes Bild gezeichnet hat.

Dem Reisenden in fernen Ländern, welcher des Zeichnens unkundig ist, vermag diese kleine Erfindung einen wirklichen Dienst zu erweisen, und auch für den Künstler selbst, er mag noch so geschickt sein, ist sie von Wichtigkeit. Ich zweifle nicht daran, dafs das Verfahren grofser Verbesserungen fähig ist; aber selbst auf seiner jetzigen Stufe wird es meines Erachtens viele nützliche und wichtige Anwendungen finden.

# 49. Die Physiologie erhält durch Johannes Müller eine wissenschaftliche Grundlage.

## A. Von den Energieen des Gesichtssinns. 1826[1]).

*Johannes Müller, der Begründer der neueren Physiologie, wurde 1801 in Coblenz geboren, studierte 1819—1822 Medizin und*

[1]) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Tiere nebst einem Versuch über die Bewegungen der Augen von Johannes Müller. Leipzig 1826, Teil II, Kapitel 2.

*bekleidete seit 1830 in Bonn, später in Berlin die Professur für Anatomie und Physiologie. Er starb am 28. April 1858.*

Von den Arten, wie der tierische Organismus sinnlich affiziert wird, haben wir nur eine zu beleuchten uns vorgenommen, nämlich den Gesichtssinn, dessen Energieen die Empfindung des Lichten, des Dunklen und des Farbigen sind. Und so wollen wir denn gleich im Anfange den Grundgedanken aller physiologischen Untersuchung, sowohl des Gesichtssinnes als aller anderen Sinne aussprechen, den wir im Verfolg der Untersuchung uns nicht oft genug wiederholen können, und ohne den durchaus keine Einsicht in die Physiologie der Sinne möglich ist. Dafs nämlich die Energieen des Lichten, des Dunklen, des Farbigen nicht den äufseren Dingen, den Ursachen der Erregung, sondern der Sehsinnsubstanz selbst anhaften, und die Sehsinnsubstanz nicht affiziert werden kann, ohne in ihren eingeborenen Energieen des Lichten, Dunklen, Farbigen thätig zu sein. Dafs das Lichte, das Schattige und die Farben nicht als etwas fertiges Äufserliches existieren, von welchem berührt der Sinn die Empfindung desselben habe, sondern dafs die Sehsinnsubstanz, von jedwedem Reiz erregt, immer diese ihre Affektion in den Energieen des Lichten, Dunklen, Farbigen sich selbst zur Empfindung bringe. Der Sehnerv kann gar nicht affiziert werden, ohne sich selbst leuchtend zu sehen, der Hörnerv nicht, ohne eine Tonempfindung, der Geschmacksnerv nicht, ohne zu schmecken u. s. w. Der Sehnerv sieht nicht darum, weil die Netzhaut mit dem in Berührung kommt, was wir physisches Licht nennen; der Hörnerv hört nicht darum, weil er infolge der Schallleitung mitschwingt. Es ist ganz gleichgültig, welcher Art die Reize sind, die das Sinnesorgan treffen, ihre Wirkung hängt immer von den Energieen desselben ab. Druck, Erschütterung, Reibung, Kälte und Wärme, der galvanische und elektrische Gegensatz, chemische Reagentien, die Pulse des eigenen Körpers, die Entzündung der Netzhaut, kurz alle nur denkbaren Reize, welche in was immer für einer Form auf die Sehsinnsubstanz zu wirken vermögen, wirken auf diese nur so, dafs sie die Empfindung des Dunklen, welche sie auch ohne Reiz hat, zu ihren Energieen, nämlich zur Empfindung des Lichten und des Farbigen treiben. Dahin gehören auch alle sogenannten subjektiven Gesichtsphänomene. Nicht also nur das, was wir Licht nennen, leuchtet; auch der Druck, die Reibung, kurz alle Bewegung, ruft Lichtempfindung hervor; und das äufsere Licht ist um nichts vornehmer in der Er-

zeugung der subjektiven Lichtenergieen als alle anderen Bedingungen; auch das erstere leuchtet nur, insofern es, das Auge affizierend, ein sich selbst Fremdartiges, dem Auge Homogenes, die Lichtempfindung, erregt. Und nicht etwa wird durch jene neben dem äufseren Licht gegebenen Reize, insofern sie auf das Auge wirken, nur eine allgemeine Lichtempfindung erweckt, sondern wenn jene Reize, wie der Druck z. B., gleich dem äufseren Lichte auf einzelne Teile der Netzhaut wirken, erregen sie so gut wie dieses in der Netzhaut Bilder, deren Grenzen den affizierten Teilen entsprechen. Auch ist die Lichterzeugung im Auge nicht etwa so zu denken, dafs durch die Reibung u. s. w. physisches Licht erzeugt werde. Nie wird durch solche Reize in dem Auge ein dem fremden Beobachter erkennbares Licht entwickelt, wie stark auch die subjektive Lichtempfindung in dem eigenen Auge sein mag. Alle Reize, welche auf Lebendes wirken, setzen weder ihre eigene Wirksamkeit in das Organische, noch auch verbindet sich die einwirkende Substanz mit der leidenden organischen. Sondern alle einwirkenden Substanzen bewirken in dem tierischen Organismus ein anderes als sie selbst sind, und die Art der Reaktion hängt nicht wesentlich von dem Reize ab, sondern sie ist eine von den in der tierischen Wesenheit gelegenen Energieen. So bewirken alle denkbaren Arten von Reiz auf den Bewegungsnerven nicht das ihnen gleiche, wie eine mechanische, eine galvanische Äusserung u. s. w., sondern die Kontraktion des Muskels. So bewirken ferner alle denkbaren Reize in der Sehsinnsubstanz nur die Energieen derselben. Was aber dem, das die Lichtenergie in unserem Auge hervorbringt, wesentlich zu Grunde liegt, das wissen wir nicht. Es ist also Unrecht zu sagen, die Körper würden auch ohne das empfindende Organ leuchten, als habe das von aufsen ganz und gar fertige Licht nur zu warten, bis es die Netzhaut berühre, um als Fertiges empfunden zu werden.

Wir mögen uns die Mahnung gelten lassen, dafs Licht, Dunkel, Farbe, Ton, Wärme, Kälte und die verschiedenen Gerüche und Geschmäcke, mit einem Worte, alles, was uns die fünf Sinne an allgemeinen Eindrücken bieten, nicht die Wahrheiten der äufseren Dinge, sondern die Qualitäten unserer Sinne sind, dafs die tierische Sensibilität allein in diesen rein subjektiven Zweigen ausgebildet ist, wodurch das Nervenmark hier nur sich selbst leuchtet, dort sich selbst tönt, hier sich selbst fühlt, dort sich selbst riecht und schmeckt. Dafs unter den äufseren Stoffen die einen mehr diesen, die anderen mehr jenen Sinn affizieren, dafs die Bedingungen für

verschiedene Töne, für verschiedene Gesichtserscheinungen, wie etwa für die verschiedenen Farben, in den äufseren Dingen gegeben sind, wird damit geleugnet. Aber derselbe Reiz, wie der Galvanismus oder der Druck, die Pulse des Körpers, die Affektion des Gehirns, jeder von allen diesen Einflüssen erregt in dem Sehorgan Lichtempfindung, in dem Gehörorgan Ton, in den Riechnerven Geruch u. s. w. Die Wesenheit der äufseren Dinge und dessen, was wir äufseres Licht nennen, kennen wir nicht; wir kennen nur die Wesenheiten unserer Sinne, und von den äufseren Dingen wissen wir nur, inwiefern sie auf uns in unseren Energien wirken. Um von dem äufseren Lichte etwas aus einer ihm selbst adäquaten Wirkung an anderen Dingen zu erkennen, müssen wir die physikalischen Wirkungen des Lichtes auf Substanzen untersuchen, welche nicht lebende Wesen sind. Ob auf diesem Wege etwas zu gewinnen sei, haben wir hier nicht zu prüfen.

## B. Über die Augen und das Sehen der Insekten, Spinnen und Krebse[1]).

Fast allen Krebstieren und allen vollkommen entwickelten geflügelten Insekten kommen zusammengesetzte Augen zu; sie fehlen den Larven der Käfer, Hautflügler, Zweiflügler, Schmetterlinge und der meisten Netzflügler. Sie kommen dagegen zu den im Wasser lebenden Larven der Libellen und Eintagsfliegen, sowie den Larven der Gerad- und Halbflügler, welche sich durch eine unvollkommene Verwandlung auszeichnen.

Soviel ist gewifs, dafs, wenn das Auge der Insekten so gebaut ist, wie man glaubt, wir uns einer Einsicht in die Physiologie des Sehens dieser Tiere vollkommen begeben müssen. Das zusammengesetzte Auge der Insekten erforderte darum eine neue Untersuchung. Ich teile meine Resultate mit, indem ich immer die Physiologie des Sinnes im Auge behalte.

### Die Hornhaut.

Bei den Insekten sind die Facetten sechseckig, bei den Krebsen bald sechs-, bald viereckig.

---

1) Johannes Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1826, Teil VII, Kapitel 4 und 5.



Die Zahl der Facetten beträgt nach den Beobachtungen von Swammerdam, Leeuwenhoek[1]) u. a. bei:

| | |
|---|---|
| Mordella[2]) . . . . . . . . . . . . . . | 25088 |
| Libellula . . . . . . . . . . . . . . | 12544 |
| Bombyx mori[3]) . . . . . . . . . . . | 6236 |
| Musca domestica[4]) . . . . . . . . . | 4000 |
| Formica[5]) . . . . . . . . . . . . . . | 50 |

Bei vielen Insekten, namentlich bei den Hautflüglern und den Schmetterlingen, bestehen alle Facetten aus bikonvexen Linsen, wovon ich mich auf das Bestimmteste überzeugt habe. Bei vielen anderen Insekten aber sind die Facetten der Hornhaut weniger konvex und meist an der inneren Fläche eben.

### Die durchsichtigen Kegel.

Schon Swammerdam hat in seiner sonst nicht ganz richtigen Darstellung des Auges der Drohne auf durchsichtige kegelförmige Organe aufmerksam gemacht, welche zwischen den Endigungen der Sehnervenfasern und den Facetten der Hornhaut vermittelnd eintreten. Nach meinen Untersuchungen kommen diese Organe den zusammengesetzten Augen aller Insekten und Krebse zu. Die Form dieser Kegel ist bei den verschiedenen Gliedertieren sehr verschieden. Sie richtet sich einigermafsen nach der Form der Facetten.

Die Basis des Kegels, welche mit der entsprechenden Facette der Hornhaut in Verbindung tritt, ist bald eben, bald der inneren konvexen Fläche der Facette entsprechend ausgehöhlt. Die Wände der Kegel liegen dicht aneinander, durch das Pigment, welches sie überkleidet, getrennt. (Zum besseren Verständnis der Beschreibung diene die Figur 35 auf nebenstehender Seite.)

Die unteren Spitzen der durchsichtigen Kegel sitzen auf den Endigungen der Sehfasern auf. Das Pigment aber, welches die Sehfasern bis zum Kopf des Sehnerven von einander scheidet, dringt auch in die Zwischenräume der Kegel bis zu den Begrenzungen der Facetten ein, überall die äufseren Wände jener Organe überkleidend.

1) Über Swammerdam siehe 18, Seite 95. Leeuwenhoek in Delft (1632—1723) entdeckte die Blutkörperchen und die Infusionstiere.

2) Kleine, auf Blüten sehr häufig vorkommende Käfer.

3) Seidenspinner.

4) Stubenfliege.

5) Ameise.

## Von dem Sehen mit zusammengesetzten Augen.

Was man vom Sehen der Insekten weifs, ist sehr gering. Swammerdam u. a. stellten mannigfache Versuche an, die wenig Erfolg hatten. Doch scheint gewifs, dafs der Gesichtskreis der Insekten nur so viel vom Horizont umfafst, wie der Kugelabschnitt ihres Auges von dem ganzen Umfange einer Kugel. Die Insekten entfliehen nicht eher, als bis man in jenem durch den Umfang ihres Auges bestimmten Gesichtskreise ihnen näher tritt. Die Augen der Insekten sind ferner keiner Veränderung für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen fähig; sie sehen meist nur in der Nähe gut, und auch die scheuesten, gröfsten Tagschmetterlinge und Netzflügler entfliehen nicht, wenn man sich ihnen nähert, ohne einen Schatten zu werfen und ohne Geräusch zu machen, selbst wenn man ihnen auf 10 — 15 Fufs nahe kommt.

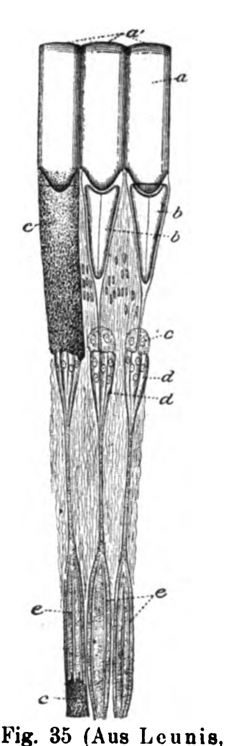



Fig. 35 (Aus Leunis, Synopsis der Tierkunde, II. Bd. 3. Aufl. Fig. 55). *a* Facetten, *b* Kegel, *c* Pigment, *d* Sehnerven.

Die vermittelnden durchsichtigen Organe zwischen den Fasern des Sehnerven und der Hornhaut, welche schon Swammerdam bei der Biene kannte, und die nach meinen Untersuchungen den zusammengesezten Augen der Insekten ohne Ausnahme zukommen, sind als die wichtigsten Teile eines zur Sonderung des Lichtes dienenden Sehapparates in den bisherigen Erklärungen übersehen worden.

Wenn einer bestimmten Stelle der Netzhaut nur Licht von einer bestimmten Stelle des Objektes zukommen kann, von allen anderen Teilen der Netzhaut aber dieses Licht ausgeschlossen wird. so ist dadurch ein Bild gegeben. Dies geschieht in den zusammengesetzten Augen der Insekten und Krebse durch die zwischen den Fasern des Sehnerven und den Facetten der Hornhaut gelegenen, mit beiden verbundenen, an ihren seitlichen Wänden mit Pigment bekleideten durchsichtigen Kegel. Jeder dieser Kegel läfst nur dasjenige Licht zu der Faser des Sehnerven, mit welcher er an

seiner Spitze verbunden ist, das unmittelbar durch die Axe des Kegels einfällt. Alles andere von demselben Punkte ausgehende, auf die Hornhaut schief einfallende Licht wird nicht das untere Ende der Kegel erreichen und auch nicht zur Perception durch andere Fasern des Sehnerven gelangen; es wird schief einfallend von den mit Pigment bekleideten Wänden der nur in der Axe durchsichtigen Kegel absorbiert werden.

Je mehr nun ferner der durchsichtigen Kegel in einem Kugelabschnitte bestimmter Gröfse vorhanden sind, um so bestimmter wird die Begrenzung des Bildes im Innern des Auges werden.

Die Begrenzung wird auch zunehmen, je länger die Kegel sind oder je weniger das schief einfallende Licht bis zu den Sehfasern der seitlichen Kegel einzudringen vermag. Die Zweiflügler und Netzflügler, deren Augen viele tausend Facetten der Hornhaut und ihnen entsprechende Kegel haben, müssen sich vor den übrigen Insekten aus eben diesem Grunde, und nicht wegen der Gröfse ihrer Augen, durch ein schärferes Gesicht auszeichnen.

Diese Art des Sehens ist freilich immer sehr unvollkommen und undeutlich, aber für den Lebenshaushalt der Insekten hinreichend.

Vermöge der Konvexität der einzelnen Facetten wird die Hornhaut das in der Richtung der Axe einfallende Licht der Axe selbst zulenken und in der Tiefe des Auges zu gröfserer Einigung bringen. So mag es kommen, dafs das den ganzen Kegel durchleuchtende Licht in der Spitze desselben, wo es die Sehfaser affiziert, punktförmig vereinigt wird.

Das Pigment, welches sich bis in die Zwischenräume der Sehfasern fortsetzt, sich allmählich gegen die Eintrittsstelle des Sehnerven hin verlierend, hat insbesondere noch die Bedeutung, dafs es die einzelnen Sehfasern, wie die ihnen entsprechenden Kegel isoliere. Da nämlich die Sehfasern häufig nicht genau radial gestellt sind, sondern von den Spitzen der Kegel gegen die Eintrittsstelle des Sehnerven hin etwas bogenförmig verlaufen, so würde ohne Zwischenschichten von Pigment das in der Axe eines Kegels einfallende Licht mehrere nebeneinander liegende Sehfasern erregen können. Da das zusammengesetzte Auge an den einzelnen Stellen immer nur dasjenige sieht, was ihm in den Axen der durchsichtigen Kegel geboten wird, so liegt die Begrenzung des Gesichtsfeldes auch in der Fortsetzung derjenigen Fläche, welche das Auge seitlich begrenzt. Darum ist das Gesichtsfeld um so gröfser, nicht je gröfser das Auge überhaupt ist, sondern je mehr das Auge sich der Halbkugel nähert.

# 50. Die Zelle wird als das Elementarorgan des tierischen und pflanzlichen Organismus erkannt. 1839.

## Schwann, Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen[1]).

*Theodor Schwann wurde am 7. Dezember 1810 in Neufs geboren, war Professor der Anatomie in Löwen und Lüttich und starb in Köln am 11. Januar 1882.*

*Durch sein Hauptwerk, die „Mikroskopischen Untersuchungen", aus dem hier ein Abschnitt auszugsweise wiedergegeben werden soll, begründete Schwann die Zellentheorie. Der zu allgemeiner Anerkennung gelangte Grundgedanke derselben besteht darin, dafs jeder pflanzliche und tierische Organismus entweder einzellig ist oder einen Komplex von Zellen darstellt. Dadurch, dafs in letzterem Falle jede Einzelzelle in den Dienst des Ganzen tritt, entsteht der Zellenstaat, wie wir ihn in allen höheren Organismen verwirklicht finden.*

*Während es nun ein Leichtes war, die zellige Struktur der Pflanzen nachzuweisen, boten die tierischen Gewebe mit ihren weitgehenden Abänderungen des Grundtypus der Zelle besondere Schwierigkeiten. Dieser wufste aber Schwann durch seine mikroskopische Technik und ein beharrliches Verfolgen des leitenden Grundgedankens Herr zu werden, sodafs die Zellentheorie das wichtigste Fundament der wissenschaftlichen Botanik und Zoologie geworden ist.*

So grofs die Mannigfaltigkeit ist, welche die Pflanzen in ihrer äufseren Form darbieten, so einfach ist ihre innere Struktur. Ihr aufserordentlicher Reichtum an Gestalten wird nur hervorgebracht durch die Aneinanderfügung einfacher Elementargebilde, die zwar verschiedene Modifikationen zeigen, aber wesentlich überall dasselbe sind, nämlich Zellen. Manche niederen Pflanzen werden nur von aneinandergereihten gleichartigen[2]) oder selbst nur von einer einzigen Zelle gebildet[3]). Die Gefäfspflanzen bestehen im frühesten Zustande ebenfalls nur aus einfachen Zellen. Bei erwachsenen Gefäfspflanzen

1) Erschienen in Berlin im Jahre 1839.

2) Wie die Wasserfäden.

3) Die Vaucheria; Siehe 53.

ist die Struktur mannigfaltiger, so dafs man noch vor kurzem als die Elementargewebe dieser Pflanzen Zellengewebe, Fasergewebe und Gefäfse oder Spiralröhren unterschied. Allein die Untersuchungen über den Bau und besonders über die Entwicklungsgeschichte dieser Gewebe haben gezeigt, dafs die Fasern und Spiralröhren nur langgestreckte Zellen und die Spiralfasern nur spiralförmige Ablagerungen auf der inneren Fläche solcher Zellen sind. Auch die Gefäfspflanzen bestehen also aus Zellen, die indes zum Teil eine weitere Entwicklung erfahren haben.

Die Tiere, wie sie überhaupt in ihrer äufseren Form weit mannigfaltiger sind als die Pflanzen, besonders die höheren derselben im erwachsenen Zustande, zeigen auch eine weit mannigfaltigere Struktur in ihren einzelnen Geweben. Wie sehr unterscheidet sich ein Muskel von einem Nerven, dieser vom Horngewebe u. s. w. Gehen wir aber auf die Entwicklungsgeschichte dieser Gewebe zurück, so zeigt es sich, dafs alle die mannigfaltigen Formen ebenfalls nur aus Zellen entstehen, und zwar aus Zellen, welche durchaus den Pflanzenzellen analog sind. Dies durch Beobachtungen nachzuweisen, ist der Zweck der vorliegenden Abhandlung.

Man hat schon häufig auf die Ähnlichkeit einzelner tierischer Gebilde mit pflanzlichen aufmerksam gemacht. Allein mit Recht hat man aus solchen einzelnen Ähnlichkeiten nichts gefolgert. Nicht jede Zelle ist ein den Pflanzenzellen analoges Gebilde. Wenn man Zellen tierischer Gewebe jenem Elementargebilde der Pflanzen zur Seite stellen will, so kann dies mit Sicherheit nur auf einem der folgenden Wege geschehen. Entweder man zeigt, dass ein grofser Teil der tierischen Gewebe aus Zellen, von denen jede ihre besondere Wand haben mufs, entsteht oder besteht. Oder man weist bei einem einzelnen aus Zellen bestehenden tierischen Gewebe nach, dafs in diesen Zellen ähnliche Kräfte wirken wie in den Pflanzenzellen, d. h. dafs Ernährung und Wachstum auf dieselbe oder eine ähnliche Art vor sich gehen. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtete ich auch die Sache, als ich gelegentlich meiner Untersuchungen über die Nervenendigungen in dem Schwanze der Froschlarven nicht nur die schöne zellige Struktur der Chorda dorsalis[1]) bei diesen Larven sah, sondern auch die Kerne in diesen Zellen entdeckte.

[1]) Die Chorda dorsalis ist die erste Anlage der Wirbelsäule, sie wird im Laufe der Entwicklung durch die Wirbelkörper verdrängt, bleibt aber bei den niedersten Wirbeltieren, wie dem Amphioxus und dem Neunauge während der ganzen Dauer ihres Lebens erhalten.

Die Chorda dorsalis liegt bei den Froschlarven, wie bei den Fischen, in oder bei einigen unter den Körpern der Wirbel und setzt sich durch die ganze Länge des Schwanzes fort. Sie ist von einer festen Scheide umschlossen und bildet einen spindelförmigen, konsistent gallertartigen, durchscheinenden Strang, der am Anfange des Schwanzes am dicksten ist und von da nach beiden Seiten, bis zum Schädel und zur Schwanzspitze, allmählich sich verschmälert. Mikroskopisch betrachtet zeigt sie sich in ihrem Innern von einem zelligen Gefüge. Das Innere gleicht ganz dem parenchymatösen Zellengewebe der Pflanzen. Siehe Fig. 36. Bald erkennt man, besonders an den Berührungsstellen dreier Zellen, dafs jede Zelle für sich von einer besonderen Haut umschlossen ist. Die Zellen sind von sehr verschiedener Gröfse, im allgemeinen werden sie nach aufsen etwas kleiner. Sie haben eine unregelmäfsige polyedrische Gestalt; ihre Wände sind sehr dünn, farblos, glatt, fast vollkommen durchsichtig, fest und wenig dehnbar. Die Zellen der Chorda dorsalis der Froschlarven enthalten in ihrem Innern eine farblose, homogene, durchsichtige Flüssigkeit.

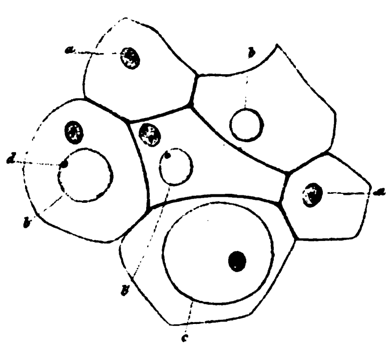


Fig. 36. Die Zellen der Chorda dorsalis einer Plötze.

Bei weitem die meisten dieser Zellen enthalten einen sehr deutlichen Kern. Er stellt ein etwas gelblich gefärbtes Scheibchen dar, von ovaler Form, etwas kleiner als ein Froschblutkörperchen und fast ebenso platt. Vergl. Fig. 36a, wo es aus der Chorda dorsalis einer Plötze abgebildet ist. In diesem Scheibchen sieht man einen, selten zwei und sehr selten drei dunkle scharf umschriebene Flecke. Es gleicht also durchaus dem Kern der Pflanzenzellen mit dessen Kernkörperchen und ist mikroskopisch gar nicht davon zu unterscheiden. Aber auch in seiner Lage zur Zelle stimmt es mit dem Kern überein. Bei sehr vielen Zellen nämlich, deren vertikale Wand von oben gesehen wird, kann man sich überzeugen, dafs der Kern dicht an der inneren Wandfläche der Zelle liegt. Die Zellen der Chorda dorsalis liegen so dicht beieinander, dafs die Wände zweier benachbarten Zellen sich unmittelbar berühren. Selbst wenn drei oder mehr Zellen zu-

sammenstofsen, ist dies meistens so innig, dafs man nur die sich berührenden Wände bemerkt. Zuweilen jedoch bleibt in diesem Falle ein kleiner Zwischenraum, und hier zeigt sich dann wie bei den Pflanzen eine Art Intercellularsubstanz oder ein Intercellulargang. Man sieht wenigstens zuweilen in einem solchen Falle von Aneinanderstofsen dreier Zellen auf einem frischen Querschnitte die Zellenwände sowohl nach der Zelle hin als nach aufsen scharf begrenzt und zwischen ihnen einen kleinen dreieckigen Zwischenraum, der von einer durchsichtigen Flüssigkeit (nicht von Luft, wie es bei den Pflanzen die Regel ist) oder wenigstens mit einer Substanz gefüllt ist, die das Licht anders bricht als die Zellwände selbst.

Was die Verdickung der Wände anbelangt, so scheint bei der Chorda dorsalis der Froschlarven die Zellenwand immer einfach zu bleiben; aber bei den erwachsenen Knochenfischen z. B. zeigt sich eine solche. Die Zellhöhlen werden durch diese Verdickung der Wände immer kleiner.

Um die Untersuchungen über die Chorda dorsalis zusammenzufassen, kann man also sagen: sie besteht aus polyedrischen Zellen, die an ihrer inneren Wandfläche ein mit dem Pflanzenzellkern in seiner Form und Lage übereinstimmendes Gebilde haben, nämlich ein ovales plattes Scheibchen, welches ein oder zwei Kernkörperchen enthält. Die Zellen stofsen gewöhnlich dicht aneinander. Zuweilen aber kommt an Stellen, wo drei oder mehr Zellen zusammenstofsen, eine Art Intercellularsubstanz oder ein Intercellulargang vor.

Wichtiger für die ganze tierische Organisation ist die Übereinstimmung der Struktur der Knorpel mit dem Pflanzengewebe.

Wir haben es hier nicht nur mit einem weit verbreiteten tierischen Gewebe zu thun, sondern auch mit einem solchen, welches wenigstens in seinen späteren Entwicklungsstufen Gefäfse enthält, und daher entschiedener den Charakter eines tierischen Gewebes trägt. Die einfachste Form des Knorpels zeigt sich in den Kiemenstrahlen der Fische. Die Struktur dieses Knorpels ist sehr einfach. An der Spitze gleicht er in seinem Totalanblick ganz dem parenchymatösen Pflanzenzellgewebe. Siehe Fig. 36. Man sieht kleine polyedrische dicht an einander liegende Zellen mit abgerundeten Ecken. Der Zellinhalt ist durchsichtig und läfst an einigen Zellen schon im frischen Zustande, an anderen erst nach der Einwirkung von Wasser einen kleinen blassen runden Kern

erkennen. Jede Zellhöhle zeigt sich mit einem dicken Ring, ihrer eigentümlichen Wand, umgeben, dessen äufsere Kontur bald mehr bald weniger deutlich ist. Zwischen zwei Zellen fliefsen diese äufseren Konturen zu einer Linie zusammen, laufen aber auseinander, wenn die Berührung der Zellwände aufhört, sodafs oft ein drei- oder viereckiger Zwischenraum, eine Art Intercellularsubstanz, zwischen den Zellwänden übrig bleibt.

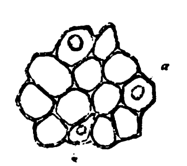



Fig. 37. Knorpel aus der Spitze des Kiemenstrahls einer Plötze.

Die Untersuchung über die Chorda dorsalis und die Knorpel, deren Detail hier nicht wiedergegeben ist, hat zu dem Resultate geführt, dafs die wichtigsten Verhältnisse ihrer Struktur und ihrer Entwicklung mit entsprechenden Prozessen bei den Pflanzen übereinstimmen; dafs zwar noch einige Abweichungen übrig bleiben, die aber nicht hinreichend sind, das Hauptresultat zu stören, dafs nämlich diese Gewebe aus Zellen entstehen, welche durchaus den Elementarzellen der Pflanzen parallel gestellt werden müssen. Es ist hiermit der erste der in der Einleitung verlangten Beweise geliefert, nämlich bei einem einzelnen Gewebe zu zeigen, dafs es nicht nur aus Zellen entsteht, sondern dafs diese Zellen bei ihrem Entwicklungsprozesse analoge Erscheinungen zeigen, wie die Pflanzenzellen. Dadurch ist eine Hauptscheidewand zwischen Tier- und Pflanzenreich, die Verschiedenheit der Struktur, gefallen. Wir kennen die Bedeutung der einzelnen Teile der genannten tierischen Gewebe und wissen, dafs bei diesen Geweben Zellen, Zellmembran, Zellinhalt, Kerne und Kernkörperchen durchaus den gleichnamigen Teilen der Pflanzenzellen analog sind.

Es bleibt uns jetzt der zweite Beweis für die Übereinstimmung der tierischen und pflanzlichen Struktur zu liefern übrig, nämlich der, dafs die meisten oder alle tierischen Gewebe sich aus Zellen entwickeln.

*Schwann gelangte durch die Untersuchung der Knochen, Muskeln, Nerven, Gefäfse und Oberhautbildungen zu dem Resultat, dafs dies der Fall ist.*

# 51. Die Physiologie wendet sich gegen die Annahme einer besonderen Lebenskraft.

## Schleiden, Erörterungen über Gegenstand und Aufgabe der Botanik. 1845[1]).

*Matthias Jakob Schleiden wurde 1804 in Hamburg geboren, war Professor der Botanik in Jena und Dorpat und starb 1881 in Frankfurt am Main. Schleiden war nicht nur ein hervorragender Forscher, sondern vor allem ein Reformator, welcher neue Ziele und Wege wies. Mit dem Erscheinen seiner „Botanik“, der nachstehender Abschnitt entnommen ist, beginnt für diese Wissenschaft die Periode vorwiegend induktiver Forschungsweise.*

Unter die allgemeinste naturwissenschaftliche Aufgabe, allen Wechsel der Erscheinungen auf Bewegungen zurückzuführen und nach mathematischen Gesetzen aus den Grundkräften der Anziehung und Abstofsung zu erklären, fällt auch die Konstruktion des Bildungstriebes. Von der Lösung dieser Aufgabe sind wir noch so weit entfernt, wie man von der Konstruktion der Gravitationsprozesse vor Newton, vielleicht selbst vor Keppler entfernt war. Das thut aber der Richtigkeit der Aufgabe keinen Abbruch. Zuerst wird und mufs diese Aufgabe bei den Krystallen gelöst werden.

Es ist ein allgemeines Naturgesetz (d. h. überall bestätigte Erfahrung), dafs sich die Gestalt als das relativ Feste nur aus dem Flüssigen bildet. Theoretisch liefse sich dieses Gesetz so ableiten: Bildung einer Gestalt ist Bewegung der einzelnen Teilchen einer Materie bis an eine gewisse Stelle. Der flüssige Zustand ist aber der einzige, bei welchem ohne Aufhebung des Zusammenhanges die Beweglichkeit der einzelnen Teile im höchst möglichen Grade vorhanden ist, also ist Gestaltbildung nur im Flüssigen möglich. Entweder schliefst nun die Gestalt bei ihrer Entstehung die Mutterlauge, wenn wir mit diesem passenden, der Chemie entlehnten Worte ganz allgemein die aus sich Gestalten bildende Flüssigkeit bezeichnen, aus oder ein. Ich mufs hier noch bemerken, dafs die

[1]) Die Botanik als induktive Wissenschaft behandelt von M. J. Schleiden. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1. Auflage 1842. Der obige Abschnitt wurde der 2. Auflage (1845) entnommen und ist eine gekürzte Wiedergabe von Bd. 1, § 2.

bildende Kraft nur in der Materie, in der Flüssigkeit liegen kann. Nicht die Gestalt bildet sich, wie es so oft falsch ausgedrückt wird, sondern die Flüssigkeit bildet sie.

In dem ersten der angeführten Fälle, wenn nämlich das Feste die Mutterlauge ausschliefst, bildet sich der Krystall. Die Natur macht hier den ersten Versuch zur Gestaltung; es ist die niedrigste Stufe der bildenden Thätigkeit. Die bildende Kraft bleibt hier lediglich ein Äufseres, durch keine Einwirkung von innen heraus Bedingtes. Der zweite Fall ist der, dafs das Feste die Mutterlauge einschliefst. Hier bezieht sich sogleich die ganze Bildung auf ein Inneres.

Wir wollen diese einfache Gestalt, wo das relativ Feste einen Teil der Mutterlauge umschliefst, eine Zelle nennen. Es liefse sich nun der Fall denken, dafs die Hülle ein absoluter Isolator zwischen den physikalischen Kräften der Aufsenwelt und der eingeschlossenen Mutterlauge wäre. Indes abgesehen davon, dafs selbst für eine einzelne physikalische Kraft uns die Erfahrung keinen absoluten Isolator aufweist, giebt sie uns für die tierische und pflanzliche Membran ganz entschieden das Gegenteil an die Hand. Ihr kommt aufser der Durchdringlichkeit für die Imponderabilien [1]) noch die Permeabilität für ponderable Stoffe in flüssigem Zustande zu. Die physikalischen Kräfte wirken also auf den Inhalt der Zelle fort, aber modifiziert durch die Vermittlung der umschliefsenden Hülle.

Wollen wir nun die Ausdrücke lebendig und tot, organisch und unorganisch auf diese verschiedenen Produkte des Bildungstriebes anwenden, so können wir immerhin die Krystalle unorganische, tote, die Zellen organische, lebende Wesen nennen. Wir charakterisieren also hier den Begriff Organismus als das Verhältnis der Gestalt zur eingeschlossenen Mutterlauge, und Leben als Wechselwirkung zwischen der Mutterlauge und der Gestalt, zwischen dem Inhalt und den äufseren physikalisch-chemischen Kräften, vermittelt durch die umschliefsende Hülle.

Bedenken wir, welchen Zeitraum (nämlich von der Alexandrinischen Schule bis auf Newton) man in der Astronomie gebraucht hat, um in den so einfachen Verhältnissen der kosmischen Formen von der Beobachtung der Erscheinungen bis auf die Erkenntnis der Grundkräfte vorzudringen. Wir werden uns daher nicht wundern dürfen, wenn wir bemerken, dafs man in der

[1]) Licht, Wärme, Elektricität.



Lehre vom Leben noch kaum über die ersten Anfänge hinaus ist, da hier die Verhältnisse so unendlich viel komplizierter sind. Wir haben in der Physik eine Anzahl verschiedenartiger Kräfte kennen gelernt, deren Wirkungsweise, an Gesetze gebunden und nach Mafs und Zeit bestimmt, für gewisse Kreise von Erscheinungen eine erklärende Ableitung zulassen, wenn wir auch noch nicht behaupten dürfen, auf die letzten Gründe gekommen zu sein. Aber bei allen physikalischen Kräften haben wir doch wenigstens eine feste Erkenntnis ihrer Wirkungsweise und ihrer Gesetzlichkeit. Beides geht uns aber für die sogenannte Lebenskraft völlig ab. Niemand ist imstande anzugeben, was sie sei, wie sie wirke, an welche Gesetze ihre Wirkungsweise gebunden sei, wie sie gemessen und danach der Erfolg bestimmt werden könne, und deshalb ist es auch unmöglich, sie als Erklärungsgrund für irgend eine Erscheinung zu gebrauchen. Der Ausspruch: dieser oder jener Vorgang ist eine Folge der Lebenskraft, heifst nichts anderes als: dieser Vorgang hat irgend eine Ursache, was sich natürlich von selbst versteht; welche aber, ist damit auch nicht einmal annäherungsweise bestimmt. Es ist Sache der Naturwissenschaft nachzuweisen, dafs die Annahme einer Lebenskraft als einer von den physikalischen Kräften verschiedenen, den Organismen eigenen Grundkraft ein Unding sei.

Es kann nicht in Abrede gestellt werden, dafs in und an den Organismen eine Menge von Erscheinungen hervortreten, die zur völligen Genüge als Wirkungen rein unorganischer Kräfte zu erklären sind. Aber von keiner dieser Kräfte kennen wir bis jetzt die Grenze ihrer Wirksamkeit im Organismus. Wenn man nun auch gar nicht in Abrede stellen wollte, dafs es neben jenen Kräften im organischen Körper noch eine diesem eigentümliche Grundkraft (die Lebenskraft) gäbe, so ist doch so viel einleuchtend, dafs erst dann von ihr die Rede sein kann, wenn wir die Wirkungssphäre aller unorganischen Kräfte im Organismus bis in ihre äufsersten Grenzen durchforscht haben, bis alle Versuche darüber angestellt, alle zum vollständigen Abschlufs gebracht, alles dabei so klar geworden ist, dafs kein Zweifel mehr übrig bleibt. Dann erst, und nicht einen Augenblick früher, sind wir imstande zu bestimmen, ob nun noch von dem Ganzen, das wir Leben nennen, ein gröfserer oder geringerer Teil übrig bleibt, der sich niemals auf die unorganischen Kräfte als deren Resultat zurückführen lassen würde. Erst dann sind wir bei dem Gebiete der Lebenskraft angekommen, dann erst können unsere Forschungen

diese eigentümliche Kraft zu ihrem Gegenstande nehmen; und wenn wir dann ihre Art und Weise, ihre Gesetzlichkeit u. s. w. erkannt haben, können wir sie als Erklärungsgrund in die Wissenschaft einführen. Jetzt aber, wo noch tausend verschiedene Fragen sich darbieten, deren Lösung durch das genauere Studium der unorganischen Kräfte zu hoffen ist, da tausende von Versuchen und Experimenten noch zu machen sind, die nur die unorganischen Kräfte betreffen und die noch gemacht werden müssen, ehe wir weiter fortschreiten können, ist es geradezu lächerlich, von der Lebenskraft anders zu sprechen, als von einem unbekannten x, dessen Wert am Ende der Rechnung auch wohl = o werden könnte. Nur Unwissenheit und Geistesträgheit sind bei dem jetzigen Stande unserer Naturwissenschaften die Verteidiger einer Lebenskraft, die alles machen, alles erklären soll, und von der keiner angeben kann, wo sie steckt, wie sie wirkt, an welche Gesetze sie gebunden ist. Der Wilde, der eine Lokomotive ein lebendes Tier nennt, ist nicht unwissender als der Naturforscher, der von Lebenskraft im Organismus spricht. Beide nennen das lebendig, bei dem sie eine Summe von Thätigkeiten zu einem Gesamteffekt verbunden sehen, ohne zur Zeit imstande zu sein, sich über die einzelnen Summanden Rechenschaft zu geben. Freilich schadet es nichts, wenn man vorläufig ein unbekanntes x mit irgend einem Ausdruck bezeichnet, wenn man nur beständig im Auge behält, dafs der Ausdruck noch keine bestimmte Geltung und Bedeutung habe; wohl aber ist es höchst verderblich für die Wissenschaft, wenn man sich durch die Zweideutigkeit, die in dem Worte Lebens*kraft* liegt, verführen läfst, diesen Ausdruck ebenso für etwas seiner Art und Gesetzlichkeit nach Bestimmtes zu halten wie etwa die Schwerkraft, denn dadurch wird jedem Fortschritt und jeder Aufklärung eine unübersteigliche Schranke entgegengesetzt.

# 52. Liebig beantwortet die Frage nach der Ernährung der Pflanzen. 1840.

## Der Prozess der Ernährung der Vegetabilien[1].

*Justus Liebig, einer der hervorragendsten Forscher dieses Jahrhunderts, wurde am 12. Mai 1803 in Darmstadt geboren. Seit 1824 Professor der Chemie in Giefsen folgte er 1852 einem Rufe nach München, wo er am 18. April 1873 starb. Durch das bahnbrechende Werk über die Ernährung der Pflanzen, dem Nachstehendes entnommen ist, wurde die Grundlage für den chemischen Teil der Pflanzenphysiologie geschaffen und eine rationelle Landwirtschaft ermöglicht, sodafs Liebig hierdurch vor allem einer der gröfsten Wohlthäter der Menschheit geworden ist.*

Im freien wilden Zustande entwickeln sich alle Teile einer Pflanze je nach der Art und Menge der Nahrungsstoffe, die ihr vom Standorte dargeboten werden, sie bildet sich auf dem magersten unfruchtbarsten Boden ebenso aus, wie auf dem fettesten und fruchtbarsten; nur in ihrer Gröfse und Masse, in der Anzahl der Halme, Zweige, Blätter, Blüten oder Früchte beobachtet man einen Unterschied.

Während auf einem fruchtbaren Boden alle ihre Organe sich vergröfsern, verkümmern sie auf einem anderen, wo ihr die Materien minder reichlich zufliefsen, die sie zu ihrer Bildung bedarf; ihr Gehalt an stickstoffhaltigen oder stickstoffreien Bestandteilen ändert sich mit der Menge stickstoffhaltiger und stickstofffreier Nahrungsmittel.

Die Entwicklung der Halme und Blätter, der Blüten und Früchte ist an bestimmte Bedingungen geknüpft. Die Ausmittelung dieser Bedingungen ist die Aufgabe des Naturforschers; aus ihrer Kenntnis müssen die Grundsätze der Land- und Forstwirtschaft entspringen.

Es giebt kein Gewerbe, das sich an Wichtigkeit dem Ackerbau, der Hervorbringung von Nahrungsmitteln für Menschen und Tiere, vergleichen läfst, in dem Ackerbau liegt die Grundlage des Reichtums der Staaten, er ist die Grundlage aller Industrie.

[1] Gekürzte Wiedergabe eines Abschnitts aus Liebigs „Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie". Braunschweig 1842. 1. Teil, 8. Kapitel.

In keinem anderen Gewerbe ist die Anwendung richtiger Prinzipien von wohlthätigeren Folgen, von gröfserem Einflufs; und es mufs um so rätselhafter und unbegreiflicher erscheinen, wenn man in den Schriften der Agronomen und Physiologen vergebens nach einem leitenden Grundsatze sich umsieht.

An allen Orten, in allen Gegenden wechseln die Methoden des Feldbaues, und wenn man nach den Ursachen dieser Abweichung fragt, so erhält man die Antwort, sie hängen von Umständen ab. Es giebt keine Antwort, in der sich die Unwissenheit offenbarer ausspricht, denn niemand hat sich bis jetzt damit abgegeben, diese Umstände zu erforschen.

Neben gleichen allgemeinen Bedingungen des Wachstums aller Vegetabilien, nämlich der Feuchtigkeit, des Lichtes, der Wärme und der Bestandteile der Atmosphäre, giebt es besondere, welche auf die Entwicklung einzelner Familien einen hervorragenden Einflufs ausüben. Diese besonderen Bedingungen liegen im Boden, oder sie werden den Pflanzen in der Form von Stoffen geboten, die man als Dünger bezeichnet.

Was enthält aber der Boden, was enthalten die Stoffe, die man Dünger nennt? Vor der Ausmittelung dieser Fragen kann an eine rationelle Land- und Forstwirtschaft nicht gedacht werden.

Zur vollständigen Lösung dieser Fragen werden die Kräfte und Kenntnisse des Pflanzenphysiologen, des Agronomen und Chemikers in Anspruch genommen; es mufs damit ein Anfang gemacht werden.

Die Bodenkultur beabsichtigt eine abnorme Entwicklung und Erzeugung von gewissen Pflanzenteilen oder Pflanzenstoffen, die zur Ernährung der Tiere und Menschen oder für die Zwecke der Industrie verwendet werden.

Man verfährt bei der Kultur der Gewächse auf eine ganz ähnliche Weise wie bei den Tieren, die man mästen will; das Fleisch der Hirsche, Rehe, überhaupt der wilden Tiere ist gewöhnlich fettlos. Die Produktion von Fett und Fleisch kann gesteigert werden, alle Haustiere sind reich an Fett. Wir steigern die Quantität der Nahrungsstoffe, oder wir vermindern durch Mangel an Bewegung den Respirationsprozefs.

Eine Erhöhung oder Verminderung der Lebensthätigkeit ist bei den Vegetabilien allein abhängig von Wärme und Sonnenlicht, über die wir nicht willkürlich verfügen können; es bleibt uns nur die Zuführung von Stoffen gestattet, welche geeignet sind, von den Pflanzen assimiliert zu werden.

Welches sind nun diese Stoffe?

Die Ackererde ist durch die Verwitterung von Felsarten entstanden; von den vorwaltenden Bestandteilen dieser Felsarten sind ihre Eigenschaften abhängig. Mit Sand, Kalk und Thon bezeichnen wir diese vorwaltenden Bestandteile der Bodenarten.

Reiner Sand, reiner Kalkstein, in denen andere anorganische Bestandteile fehlen, sind absolut unfruchtbar.

Von fruchtbarem Boden macht aber unter allen Umständen der Thon einen nie fehlenden Bestandteil aus.

Wo stammt nun der Thon der Ackererde her? Welches sind die Bestandteile desselben, welche Anteil an der Vegetation nehmen?

Der Thon stammt von der Verwitterung thonerdehaltiger Mineralien, unter denen die verschiedenen Feldspate, der gewöhnliche Kalifeldspat, der Natronfeldspat und der Kalkfeldspat, sowie der Glimmer die verbreitetsten sind.

In dem Thon mufs eine Ursache vorhanden sein, welche einen Einflufs auf das Leben der Pflanzen ausübt und direkten Anteil an ihrer Entwicklung nimmt.

Diese Ursache ist sein nie fehlender Kali- und Natrongehalt[1]).

Ein Boden, welcher ein Maximum von Fruchtbarkeit besitzt, enthält den Thon gemengt mit anderen verwitterten Gesteinen, ferner Kalk und Sand in einem solchen Verhältnis, dafs er der Luft und Feuchtigkeit bis zu einem gewissen Grade leichten Eingang verstattet.

Der Boden in der Nähe des Vesuvs läfst sich als der Typus der fruchtbarsten Bodenart betrachten. Dieser aus verwitterter Lava entstandene Boden kann seinem Ursprung nach nicht die leiseste Spur einer vegetabilischen Materie enthalten. Jedermann weifs, dafs wenn die vulkanische Asche eine Zeit lang der Luft und dem Einflufs der Feuchtigkeit ausgesetzt gewesen ist, alle Vegetabilien darin in der gröfsten Üppigkeit und Fülle gedeihen.

Die Bedingungen dieser Fruchtbarkeit nun sind die darin enthaltenen Alkalien, welche nach und nach durch die Verwitterung die Fähigkeit erlangen, von der Pflanze aufgenommen zu werden.

[1]) Während die Pflanzen ohne Zufuhr von Kalium sich nicht fortentwickeln, ist das zwar weit verbreitete Natrium als ein entbehrliches Element erkannt worden. Der Boden mufs ferner den Pflanzen Calcium, Magnesium, Eisen, Phosphor und Schwefel bieten.

Man hat dargethan, dafs kohlensäurehaltiges Wasser die Gebirgsarten, welche Alkalien enthalten, zerlegt, dafs es einen Gehalt von kohlensaurem Alkali empfängt. Es ist klar, dafs die Pflanzen selbst, insofern ihre Überreste durch Verwesung Kohlensäure erzeugen, insofern ihre Wurzeln im lebenden Zustande Säuren ausscheiden, nicht minder kräftig den Zusammenhang der Gebirgsarten lockern.

Neben der Einwirkung der Luft, des Wassers und des Temperaturwechsels sind die Pflanzen selbst die mächtigsten Ursachen der Verwitterung.

Auf einem Boden, welcher Jahrhunderte lang allen Ursachen der Verwitterung ausgesetzt gewesen ist, von dem aber die aufgeschlossenen Alkalien nicht fortgeführt wurden, werden alle Vegetabilien, die zu ihrer Entwicklung beträchtliche Mengen Alkalien bedürfen, eine lange Reihe von Jahren hinreichende Nahrung finden; allein nach und nach mufs der Boden erschöpft werden, wenn das Alkali, das ihm entzogen wurde, nicht wieder ersetzt wird. Es mufs ein Punkt eintreten, wo er der Verwitterung wieder ausgesetzt werden mufs, um einer neuen Ernte Vorrat von auflösbaren Alkalien zu geben.

So wenig Alkali es auch im ganzen betragen mag, was die Pflanzen bedürfen, sie kommen ohne dieses Alkali nicht zur Entwicklung; sie können es nicht entbehren.

Nach einem Zeitraume von einem oder mehreren Jahren, während welcher Zeit das Alkali dem Boden nicht entzogen wird, kann man wieder auf eine neue Ernte rechnen.

Die ersten Kolonisten fanden in Virginien einen Boden von der obenerwähnten Beschaffenheit vor; ohne Dünger erntete man auf einem und demselben Felde ein ganzes Jahrhundert lang Weizen oder Tabak, und jetzt sieht man ganze Gegenden verlassen und in unfruchtbares Weideland verwandelt, welches kein Getreide, keinen Tabak mehr ohne Dünger hervorbringt.

In diesem Zustande befindet sich im allgemeinen alles Kulturland in Europa.

Man giebt sich einer unbegreiflichen Täuschung hin, indem man dem Verschwinden des Humusgehaltes in diesem Boden zuschreibt, was eine blofse Folge der Entziehung der Alkalien ist [1]).

1) Nach der Humustheorie müssen alle Pflanzen aus dem Boden organische Nahrung aufnehmen. Diese geradezu unsinnige Lehre erhielt erst durch das hier zu Grunde liegende Werk Liebigs den Todesstofs.

Man versetze sich in die Umgebungen Neapels, welche als fruchtbares Getreideland bekannt sind. Seit Jahrhunderten wird auf diesen Feldern Getreide gezogen, ohne dafs dem Boden wiedergegeben wird, was man ihm jährlich nimmt. Wie kann man unter solchen Verhältnissen dem Humus eine Wirkung zuschreiben? Die Methode der Kultur, die man in diesen Gegenden anwendet, erklärt die Verhältnisse vollkommen; man bebaut nämlich das Feld nur von drei zu drei Jahren, und läfst es in der Zwischenzeit Viehherden zu einer spärlichen Weide dienen. Während der zweijährigen Brache hat das Feld keine andere Änderung erlitten, als dafs der Boden den Einflüssen der Witterung ausgesetzt gewesen ist, eine gewisse Menge der darin enthaltenen Alkalien ist wieder aufgeschlossen worden.

Wenn der Humus dem Boden die Fähigkeit geben soll, Getreide zu erzeugen, woher kommt es dann, dafs Weizen in reiner Holzerde nicht gedeiht, dafs der Halm keine Stärke erhält und sich frühzeitig umlegt? Es kommt daher, weil die Festigkeit des Halmes von kieselsaurem Kali herrührt, weil das Korn phosphorsaure Bittererde[1]) bedarf, die ihm der Humusboden nicht liefern kann, indem er keines von beiden erhält; man erhält Kraut aber keine Frucht.

Woher kommt es denn, dafs Weizen nicht auf Sandboden gedeiht, dafs der Kalkboden, wenn er nicht eine beträchtliche Menge Thon beigemischt enthält, unfruchtbar für diese Pflanze ist? Es kommt daher, weil diese Bodenarten für dieses Gewächs nicht hinreichend Alkali enthalten, es bleibt selbst dann in seiner Entwicklung zurück, wenn ihm alles andere im Überflufs geboten wird.

Ist es denn nur Zufall, dafs in den Karpathen und im Jura auf Sandstein und Kalk nur Nadelholz gedeiht, dafs wir auf Glimmerschiefer und Granitboden in Baiern, auf Basalt im Vogelsberge, auf Thonschiefer am Rhein und in der Eifel die schönsten Laubholzwaldungen finden, die auf Sandstein und Kalk, worauf Fichten noch gedeihen, nicht mehr fortkommen? Es kommt daher, weil die Blätter des Laubholzes, welche jährlich sich erneuern, zu ihrer Entwicklung die 6—10fache Menge Alkali erfordern.

Wenn auf Sandstein und Kalkboden Laubholz vorkommt, wenn wir die Rotbuche, den Vogelbeerbaum, die wilde Süfskirsche auf Kalk üppig gedeihen sehen, so kann man mit Gewifsheit darauf

[1]) Magnesiumphosphat.

rechnen, dafs in dem Boden eine Bedingung ihres Lebens, nämlich die Alkalien nicht fehlen.

Alle Grasarten bedürfen des kieselsauren Kalis; es ist kieselsaures Kali, das beim Wässern der Wiesen dem Boden zugeführt, das in dem Boden aufgeschlossen wird. In Gräben und in kleinen Bächen, an Stellen, wo durch den Wechsel des Wassers die aufgelöste Kieselerde sich unaufhörlich erneuert, auf kalireichem Thonboden und in Sümpfen gedeihen die Equisetaceen, die Schilf- und Rohrarten, welche so grofse Mengen Kieselerde oder kieselsaures Kali enthalten, in gröfster Üppigkeit.

In einer jeden bis jetzt untersuchten Pflanzenasche fand man Phosphorsäure, gebunden an Alkalien und alkalische Erden; die meisten Samen enthalten gewisse Mengen davon, die Samen der Getreidearten sind reich an Phosphorsäure.

Die Phosphorsäure wird aus dem Boden von der Pflanze aufgenommen, alles kulturfähige Land, selbst die Lüneburger Heide, enthält bestimmbare Mengen davon. In allen auf Phosphorsäure untersuchten Mineralwassern hat man gewisse Quantitäten derselben entdeckt.

Aus dem Boden gelangt die Phosphorsäure in die Samen, Blätter und Wurzeln der Pflanzen, aus diesen in den Organismus der Tiere, indem sie zur Bildung der Knochen und der phosphorhaltigen Bestandteile des Gehirns verwendet wird. Durch Fleischspeisen, Brod, Hülsenfrüchte gelangt bei weitem mehr Phosphor in den Körper, als er bedarf; durch den Urin und die festen Exkremente wird aller Überschufs wieder abgeführt.

Die Brache ist, wie sich aus dem Vorhergehenden ergiebt, diejenige Periode der Kultur, in welcher man das Land einer fortschreitenden Verwitterung vermittelst des Einflusses der Atmosphäre überläfst. Für den Zweck der Kultur ist es völlig gleichgültig, ob man das Land mit Unkraut sich bedecken läfst, oder ob man eine Pflanze darauf baut, welche dem Boden das aufgeschlossene Kali nicht entzieht.

In der Familie der Leguminosen sind viele Arten ausgezeichnet durch ihren geringen Gehalt an Alkalien und Salzen überhaupt; die Bohne enthält z. B. an phosphorsaurem Kalk und Bittererde noch kein ganzes Prozent; die grünen Blätter und Schoten der Erbsen enthalten nur $^1/_{1000}$ phosphorsaure Salze, die reifen Erbsen geben im ganzen nur 1,93 % Asche, darin 0,29 % phosphorsauren Kalk. Der Buchweizen liefert, an der Sonne getrocknet, im ganzen nur 0,681 % Asche.

Die obenerwähnten Pflanzen gehören zu den sogenannten Brachfrüchten, in ihrer Zusammensetzung liegt der Grund, warum sie dem Getreide, das nach ihnen gepflanzt wird, nicht schaden; sie entziehen dem Boden keine Alkalien, sondern nur eine verschwindende Menge von phosphorsauren Salzen.

Es ist klar, dafs zwei Pflanzen neben einander wachsend sich gegenseitig schaden, wenn sie dem Boden einerlei Nahrungsstoffe entziehen. Zwei Pflanzen werden nebeneinander oder hintereinander gedeihen, wenn sie aus dem Boden verschiedenartige Materien zu ihrer Ausbildung nötig haben.

Auf einem an Kali reichen Boden kann man mit Vorteil Weizen nach Tabak bauen, denn der Tabak bedarf keiner phosphorsauren Salze, die dem Weizen nicht fehlen dürfen; der Tabak hat vorzugsweise Alkalien und stickstoffreiche Nahrungsmittel nötig.

Zehntausend Gewichtsteile Tabaksblätter enthalten nämlich 16 Teile phosphorsauren Kalk, während die gleiche Menge Weizenstroh 47,3 Teile und die nämliche Quantität Weizenkörner 99.5 Teile phosphorsaure Salze enthalten.

---

# 53. Die Kryptogamenkunde wird durch wichtige Beobachtungen über die Fortpflanzung der Algen bereichert.

## Unger, Die Pflanze im Momente der Tierwerdung. 1842[1]).

*Franz Unger, hervorragender Paläontolog und Botaniker, wurde im Jahre 1800 in Steiermark geboren, war von 1849—1866 Professor der Botanik in Wien und starb 1870 in Graz. Die ersten Beobachtungen über Schwärmsporen, von deren Verhalten die hier im Auszuge mitgeteilte Arbeit Ungers handelt, hat man schon im Beginne des Jahrhunderts gemacht.*

Ich machte am 17. März des Jahres 1842 einen Spaziergang. In einem freundlich dahinrieselnden Bächlein fielen mir die saft-

1) 53 enthält eine gekürzte Wiedergabe der in Briefform gehaltenen Schrift „Die Pflanze im Momente der Tierwerdung, beobachtet von Dr. F. Unger, Wien 1843“.

grünen Rasen der Vaucheria clavata [1]) auf, und ich konnte nicht umhin, von diesen eine kleine Partie mit nach Hause zu nehmen.

Ich beginne mit der Beschreibung der Pflanze.

Die Vaucheria clavata erscheint in polsterförmigen Rasen am Grunde von Bächen und Flüssen, deren Bett seicht ist und von rasch strömendem Wasser bedeckt wird. Viele Tausende schwer von einander zu trennende Individuen bilden ein solches Polster, das dort, wo es an den Steinen und dergleichen aufsitzt, halb verfault ist und nur am äufseren Umfange fortgrünt.

Sucht man durch vorsichtiges Lostrennen aus solchen Polstern ein Individuum so vollständig wie möglich zu erhalten, so wird man finden, dafs dasselbe aus einem mehr oder weniger langen ungegliederten Schlauche besteht, der sich besonders gegen die Spitze zu in unregelmäfsig gestellte Zweige teilt. — Da diese Zweige von dem Hauptschlauche nicht durch Einschnürungen getrennt sind, sondern kontinuierlich in einander übergehen, also nur als Aussackungen des ursprünglichen Schlauches zu betrachten sind, so ist es begreiflich, dafs das ganze Pflänzchen eigentlich nur aus einem einzigen Schlauche oder einer Zelle besteht.

Untersucht man dieselbe genauer, so unterscheidet man den Inhalt von der umgrenzenden Membran sehr deutlich.

Der am meisten in die Augen fallende Inhalt dieser Schläuche besteht aus mehr oder weniger grün gefärbten Kügelchen, welche ziemlich nahe an einander gedrängt an der Innenwand sitzen und sie hier gleichsam überziehen.

Aufserdem findet sich im Innern der Vaucherien Pflanzenschleim.

Trägt man kleine Rasen in Gläser über, so ist man bei niedriger Temperatur, die 8—10° R. nicht übersteigen darf, im stande, die Fortpflanzung dieser Alge genau zu verfolgen.

Das erste, was man an solchen Rasen immer bemerkt, ist das Entstehen neuer hellgrüner Sprossen. Die Spitzen derselben enden stumpf zugerundet und sind mit Chlorophyllkügelchen bedeckt.

Sobald durch Querwandbildung ein Stück der Spitze von dem übrigen Schlauche abgetrennt ist, findet eine namhafte Verlängerung nicht mehr statt, sondern die ganze weitere Ausbildung besteht in einem Anschwellen. Anfänglich ist in dem Schlauchende

[1]) Die Gattung Vaucheria, welche etwa 30 darunter 15 deutsche Arten umfafst, gehört zu den Schlauchalgen. Letztere bestehen aus nur einer, meist sehr grofsen, verästelten Zelle. Die Vaucherien bilden verworrene Rasen, welche die Steine fliefsender Gewässer überziehen.

ebenso wie in dem Stücke unter der Querwand ein ziemlich konsistenter Zellinhalt vorherrschend, welcher seiner chemischen Beschaffenheit nach vorzüglich Pflanzenschleim vorstellt. Daneben finden sich noch gröfsere, mehr oder weniger regelmäfsige Chlorophyllkörner zahlreich der Innenwand des Schlauches anliegend.

Aus diesem Material bildet sich nach und nach die keulenförmige Figur des Endes und die aus derselben entstehende Spore hervor. Der erste Akt der Ausbildung dieser letzteren besteht in einer stärkeren Kondensierung des schleimigen Zellinhaltes, sowie in einer Vermehrung der Chlorophyllkügelchen. Die wichtigste Rolle spielt hier offenbar der Schleim, der vielleicht mannigfaltige, noch nicht bekannte Veränderungen durchlaufend, sich endlich in die Sporenhaut umwandelt.

Wenn Du mir bisher gefolgt bist, so kannst Du unmöglich Deine Erwartungen so hoch gespannt haben, dafs nicht dennoch das, was ich Dir weiter erzählen werde, selbst den kühnsten Flug der Phantasie überflügelte.

Mit einem Worte, es springt an der Spitze des Kolbens mit Blitzesschnelle der Schlauch auf, die Lappen des Risses legen sich zurück, und aus der engen Öffnung zwängt sich die Spore heraus[1]).

[1]) Zum besseren Verständnis dieses Vorgangs sowie der späteren Darstellung diene die nachfolgende Abbildung der Vaucheria sessilis aus Sachs, Lehrbuch der Botanik.

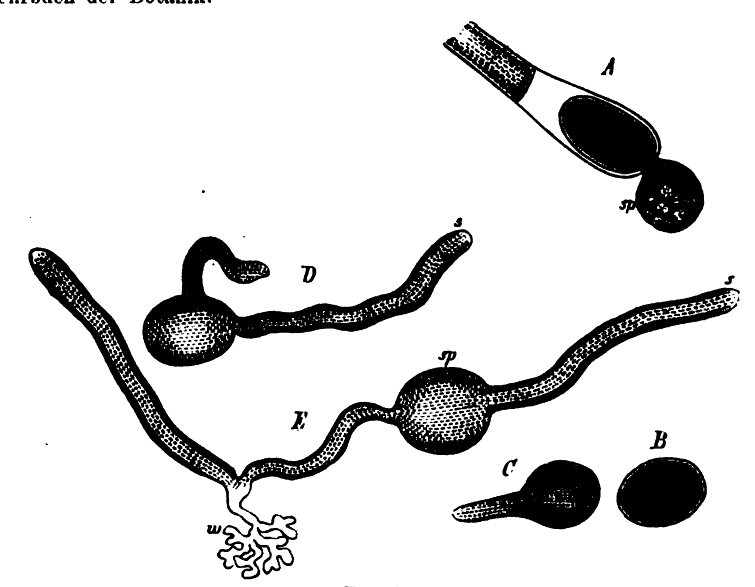



Fig. 38.
A stellt das Ausschlüpfen der Schwärmspore, CDE die Keimung dar.

Kaum traut man seinen Augen, wenn man hierbei sieht, wie nach und nach ein immer gröfserer Teil und endlich die ganze offenbar selbständig heraustretende Spore die enge Hülle verläfst, in freudiger rascher Bewegung sich im Wasser erhebt und nach verschiedenen Richtungen, ähnlich einem Infusorium, herumkreist. Dieser Entbindungsakt der sich selbständig bewegenden Spore oder des Keimes unserer Pflanze ist so interessant und wichtig, dafs Du es mir schon zu gute halten wirst, wenn ich denselben etwas umständlicher beschreibe.

Schon einige Zeit vor dem Akte der Lostrennung bemerkt man ein so bedeutendes Anschwellen der im Schlauche enthaltenen Spore, dafs die Querwand halbkugelförmig nach abwärts gedrückt wird. Gleichzeitig mit dieser Ausdehnung und Spannung der Querwand geht eine Verdünnung der Spitze des Schlauches in einer bestimmten Umgrenzung vor sich, die bei der fortdauernden Ausbildung und Vergröfserung der eingeschlossenen Spore notwendig ein Aufplatzen an der schwächsten Stelle zur Folge haben mufs.

Der bereits herausgetretene Teil der Spore ist während des ganzen Entbindungsaktes stets durch eine Einschnürung wegen der sich gleichbleibenden Enge der Öffnung von dem anderen Teile getrennt, daher denn die austretende Spore unter der Form zweier mit einander verbundener kugelförmiger Körper erscheint, von denen der äufsere in dem Mafse wächst, als der noch eingeschlossene abnimmt. Nach der Entwicklung des ersten Drittels bemerkt man statt des früheren langsamen Hervorschiebens auf einmal ein Drehen der ganzen Spore um ihre Achse, was einen starken Wasserwirbel hervorbringt.

Dafs diese drehende Bewegung, die gleichmäfsig und ununterbrochen von statten geht, auf die raschere Befreiung von der Hülle von Einflufs ist, versteht sich von selbst, ebenso dafs diese Bewegung auch nach der Loslösung der Spore in derselben Art stattfindet und die fortschreitende Bewegung derselben unterstützt.

Dieser ganze Geburtsakt dauert in der Regel zwei Minuten. Bei gröfserer Öffnung der Schlauchspitze, und bei mehreren anderen minder wichtigen Nebenumständen kann derselbe bis zu einer Minute beschleunigt, andererseits aber auch auf $2^1/_2$ bis $3^1/_2$ Minuten verzögert werden.

Unter ungünstigen Umständen, die ich noch nicht alle kenne, wovon aber einer eine allzugrofse Enge der Öffnung ist, bleibt die

Geburt der Spore unvollendet; die rotierende Bewegung hört auf, und ein bald gröfserer, bald kleinerer Teil bleibt in der Fruchtkeule eingeklemmt zurück.

Sobald die Spore sich frei gemacht und den engen Mutterschlauch verlassen hat, erhebt sie sich in mehr oder minder raschen Bewegungen, wenngleich mit öfteren Unterbrechungen nach aufwärts, bis sie die Oberfläche des Wassers erreicht hat. Diese Bewegungen sind indes so mannigfaltig und zugleich den Bewegungen mancher Infusorien so ähnlich, dafs ich nicht umhin kann, Dich noch einen Augenblick damit zu unterhalten.

Während einige Schwärmsporen nach dem Momente des Losreifsens sich lustig drehend in die Höhe steigen, die Wasserfläche erreichen, umkehren und fast ebenso rasch wieder nach abwärts fahren, äufsern andere anfänglich nur unbedeutende Schwankungen, wobei sie von dem Niveau, welches der Fruchtschlauch im Wasser einnimmt, sich nur wenig entfernen. Plötzlich aber erheben sie sich rasch und durchziehen oft eine Wasserschicht von 2 Zoll Höhe in weniger als drei Minuten. Höchst auffallend ist es, wie sie bei diesen Bewegungen sorgfältig alle Hindernisse vermeiden, wie geschickt sie durch das Gewirre der Sprossen der Vaucheria ziehen und sich gegenseitig bei Begegnungen ausweichen, daher auch nie ein An- oder Zusammenstofsen stattfindet.

Diese Beobachtungen machte ich in 6 Zoll langen, fingerdicken, sehr dünnwandigen Glasgefäfsen, in welche ich kleinere Stücke der Vaucheria einige Zoll tief eintauchte. Ich brauchte meist nur wenige Tage zu warten, bis die neu entstandenen, freudig grünen Sprossen an ihren Enden die obenbeschriebenen Keulen bildeten, aus denen sich dann jene beweglichen Schwärmsporen entwickelten.

Diese Gläser befestigte ich an einem nach Norden gelegenen Fenster, sodafs ich alles bequem mit der Lupe betrachten konnte, ohne sie dabei im geringsten zu bewegen.

Ich mufs gestehen, dafs diese Vorgänge, welche nach einander in einer Stunde oft zu Dutzenden stattfanden, dafs die mannigfaltigen Bewegungen, das Auf- und Absteigen, das Wälzen, Hin- und Herschwanken, das Ruhen und Wiederanheben so vieler kleiner dem freien Auge nur wie Pünktchen erscheinender Wesen ein Schauspiel ist, das mich nicht nur in stummes Erstaunen, sondern in ein begeistertes Entzücken versetzte. Oft rief ich die mir zunächst stehenden Personen herbei, damit sie sich auch von diesem Wunder überzeugten. Ganz vorzüglich lenkte ich meine Aufmerk-

samkeit darauf, auf welche Weise sowohl die drehenden wie die fortschreitenden Bewegungen bewirkt werden.

Ein Körper wie derjenige der Schwärmspore, der bei nur einigermafsen starker Vergröfserung schon einen bedeutenden Umfang zeigte, liefs mich erwarten, um so eher der wahren Ursache der Bewegung auf die Spur zu kommen, zumal ich überzeugt war, dafs einer so auffallenden Wirkung auch eine wie immer in die Sinne springende Ursache zu Grunde liegen müsse. Bedeutende Vergröfserungen waren ungeachtet der grofsen Deutlichkeit des Gegenstandes dennoch nicht hinreichend, um über den fraglichen Punkt Aufschlufs zu erteilen. Die raschen Bewegungen entfernten die Schwärmspore nur zu schnell immer von den Augen des Beobachters, doch konnte man immerhin so viel entnehmen, dafs bedeutende Kontraktionen des Körpers diese Bewegungen nicht hervorbrachten.

Ich gab nun sehr fein zerteilte Farbstoffe zu dem Tropfen Wasser, in welchem sich die Schwärmsporen befanden, und brachte ihn unter das Mikroskop. Die wirbelnde Bewegung, mit welcher die kleinen Farbteilchen umhergeschleudert wurden, liefs eine ungemein grofse Verwandtschaft mit ähnlichen Erscheinungen, wie sie die meisten Infusorien darbieten, nicht verkennen. Bei Anwendung starker Vergröfserungen fiel mir erst auf, dafs die Farbteilchen die Oberfläche der Schwärmsporen durchaus nicht berührten, ja ich bemerkte jetzt auch, dafs die fortschreitenden, sowie die rotatorischen Bewegungen schon lange aufgehört haben können, ohne dafs das Wasser und die in ihm suspendierten Teilchen zur Ruhe kommen. Zugleich kam es mir vor, als würden von einer freilich nicht sichtbaren, die Schwärmspore umgebenden Zone die dahin gelangenden Farbteilchen weggeschleudert, und in einigen Momenten glaubte ich selbst eine geisterhafte Bewegung an dieser Stelle wahrzunehmen. Dieses Gespenst, dachte ich mir, wirst Du doch zu bannen imstande sein, und griff nach einem Fläschchen mit wässeriger Jodlösung. Kaum hatte ich etwas davon auf mein Objekt gebracht, so hörte die Bewegung auf, und das Gespenst, das mich so lange neckte, war ertappt: es waren — was denkst Du wohl, lieber Freund? — es waren nichts anderes als eine unzählige Menge feiner Wimpern, die in den ersten Augenblicken nach der Berührung mit dem Gifte noch einige schwache Pendelbewegungen und Krümmungen versuchten und dann für immer bewegungslos stille standen.

„Also Wimpern an der Oberfläche des Körpers der schwimmenden Sporen von Vaucheria clavata und Flimmerbewegung derselben die Ursache der Bewegungen dieser Körper?!“ so höre ich Dich verwundert ausrufen. „Welch seltsame Vereinigung tierischer Organe mit dem Grundgebilde, mit der Zelle einer Pflanze.“

Die Beweglichkeit dieser Schwärmspore und alles, was daran geknüpft ist, ist indes von sehr beschränkter Dauer. Hat man dieselbe von ihrer Geburt an unablässig mit dem Auge verfolgt, was nicht so grofse Anstrengung als Geduld erfordert, so wird man finden, dafs nach Verlauf von zwei Stunden die Bewegungen häufiger unterbrochen werden, und dafs diese Pausen der Ruhe, in denen zwar Achsendrehung, aber keine Ortsveränderung stattfindet, immer länger werden. Die Schwärmspore hält sich nunmehr an der Oberfläche des Wassers auf und zwar um so lieber, je dichter dieselbe von kleinen Körperchen bedeckt ist. Diesen nähert sich die bewegliche Schwärmspore immer mehr und ruht an denselben aus, ohne dafs diese Ruhe noch einmal in Bewegung überginge.

Die straffe, glasartig durchsichtige Haut der Schwärmspore wird weniger durchsichtig, die Wimpern, die man früher nicht zu unterscheiden imstande war, erscheinen jetzt am Umfange des Körpers als feine Härchen, welche bewegungslos abstehen. Endlich verschwinden alle Wimpern so plötzlich, dafs man unmöglich mit dem Auge verfolgen kann, wohin sie kommen. Ich vermute, dafs sie nicht abgestofsen, sondern zurückgezogen werden.

Mit diesen Erscheinungen schliefst die Schwärmspore ihr ephemeres tierisches Dasein und beginnt nun eine Reihe von Entwicklungen, die sie in diejenige Welt zurückführen, aus der sie gekommen ist. Haben die Bewegungen ein Ende gefunden, so fährt das vegetative Leben fort, den scheinbar abgerissenen Faden in einer Reihe von Erscheinungen fortzuführen, die vorzugsweise die Vergröfserung und das Wachstum bezwecken. Der erste Akt dieses neuen Lebensspieles ist das Keimen, das ich nun hier etwas näher betrachten will.

Es tritt eine Vergröfserung der kugelförmigen Schwärmspore in der Art ein, dafs an einer oder an zwei einander zuweilen diametral gegenüberliegenden Stellen Fortsätze hervorbrechen, womit die eigentliche Keimung beginnt. Interessant ist, wie sich schon ein Gegensatz von Stamm und Wurzel teils während, teils nach dem Keimen auszubilden sucht, wenngleich letztere mehr als Haftorgan denn als Organ der Einsaugung sich zu erkennen

giebt. Entweder tritt dieser Gegensatz gleich anfänglich beim Keimen ein, indem sich zwei Fortsätze entwickeln, von welchen einer zum Stamme, der andere zur Wurzel wird. Oder es entwickelt sich nur ein Fortsatz, von welchem erst ein Zweig sich zur Wurzel ausbildet (siehe Fig. 37 w).

Was die Form und Beschaffenheit der Haftorgane anbetrifft, so bestehen dieselben aus einem von der kugelförmigen Schwärmspore ausgehenden, meist sehr kurzen Schlauche, der in der Dicke dem stammbildenden Schlauche wenig nachgiebt, aber durch seine Krümmungen und durch den minderen Gehalt an Chlorophyll sich von jenem hinreichend unterscheidet. Aus diesem anfänglich einfachen, blind endenden Schlauche entspringen in kurzer Zeit kleine, meist wiederholt verzweigte, blind endende, an der Spitze fast ungefärbte Fortsätze. Diese meist gedrängt stehenden Wurzelzweige legen sich an jede, selbst die unbedeutendste ihnen entgegenstehende Erhöhung knapp an und befestigen das Pflänzchen so gut an irgend eine Unterlage, dafs eine Trennung ohne eine Verletzung kaum möglich ist.

Nach 14 Tagen, zuweilen früher, bemerkt man an dem stammartigen Fortsatze schon eine Anschwellung, die sich bald zur Keule entwickelt und auf dieselbe Weise wie an der Mutterpflanze die Entstehung einer sich frei bewegenden Schwärmspore zur Folge hat.

Der ganze Kreislauf des Lebens dieses sonderbaren Gewächses ist somit eine Reihe fortwährender Wechselerscheinungen, die bald im Kreise eines tieferen, bald im Kreise eines höheren Bereiches spielen und diesem Wesen dadurch eine Doppelnatur verleihen, wie das bisher noch nicht beobachtet ist.

# 54. Darwin erklärt die Bildung der Koralleninseln.

## Ch. Darwin, Tagebuch über die naturgeschichtliche und geologische Erforschung der Länder, welche während der Weltumsegelung J. M. S. Beagle besucht wurden. 1836[1]).

*Charles Robert Darwin wurde am 12. Februar 1809 in Shrewsbury geboren, studierte 1825—1831 in Edinburg und Cambridge und durchforschte von 1831—1836 Südamerika und die Inselwelt des Stillen Oceans. Nach England zurückgekehrt widmete er sich ganz seinen Forschungen, die eine neue Ära auf vielen Wissensgebieten eröffneten. Das von Darwin während seiner Weltumsegelung geführte Tagebuch kann als Muster einer wissenschaftlich gehaltenen und doch fesselnd geschriebenen Reisebeschreibung gelten. Darwin starb am 19. April 1882 und wurde in der Westminsterabtei beigesetzt.*

1. April 1836. Wir gelangten in Sicht der Keeling- oder Kokosinsel, welche im Indischen Ocean etwa 600 Meilen von der Küste Sumatras entfernt gelegen ist. Es ist dies eine aus Korallen gebildete Laguneninsel oder ein Atoll. Das ringförmige Riff derselben ist in dem gröfsten Teile seiner Längsausdehnung von winzigen Inselchen überragt. Das seichte, klare und ruhige Wasser der Lagune wird überall von der dunklen wogenden Wassermasse des Oceans durch einen Gürtel schneeweifser Brandung getrennt.

Den nächsten Morgen, nachdem wir vor Anker gegangen waren, begab ich mich nach einer dieser Inselchen. Der Streifen trockenen Landes besitzt nur wenige hundert Ellen Breite. Auf der Lagunenseite befand sich ein weifser Kalkstrand, auf welchem der Sonnenprall unter dem herrschenden schwülen Klima sehr lästig war.

Die äufsere Küste erwies sich als eine feste breite Fläche aus Korallenfels, welche imstande war, die Gewalt der offenen See zu brechen. Aufser in der Nähe der Lagune, wo sich etwas Sand

[1]) XX. Kapitel von Darwins „Journal of Researches into the Natural History and Geology of the countries visited during the voyage of H. M. S. Beagle round the world. New Edition, London 1870", übersetzt von F. Dannemann.

fand, bestand der Boden gänzlich aus abgerundeten Korallenblöcken.

Auf solch einem lockeren, trockenen, steinigen Grunde konnte nur das Klima der heifsen Zone eine üppige Vegetation entstehen lassen. Vom naturgeschichtlichen Standpunkte besitzen diese Inseln indes wegen ihrer aufserordentlichen Armut an Arten ein hervorragendes Interesse. Der Kokosnufsbaum scheint auf den ersten Blick den gesamten Wald zusammenzusetzen; jedoch kommen noch 5 oder 6 andere Bäume vor. Aufser diesen ist die Anzahl der Pflanzenspecies sehr beschränkt und besteht aus unwichtigen Kräutern. In meiner Sammlung, welche, wie ich glaube, fast die gesamte Flora umfafst, befinden sich 20 Arten neben einem Moos, einer Flechte und einem Pilz. Da die Inseln ganz aus Korallen bestehen und einst als blofse vom Wasser überspülte Riffe existiert haben werden, so müssen alle landbewohnenden Organismen, die sich jetzt dort finden, auf den Wogen des Meeres herbeigeführt worden sein. In Übereinstimmung damit entspricht die Flora ganz dem Charakter einer Zufluchtsstätte. Professor Henslow teilt mir mit, dafs die zwanzig Arten 19 verschiedenen Gattungen angehören und letztere wieder nicht weniger als 16 Familien [1]).

Die Liste der Landtiere ist sogar noch ärmer als diejenige der Pflanzen. Einige der Inselchen werden von Ratten bewohnt, welche von einem Schiff herrühren, das hier strandete. Von Reptilien fand ich nur eine kleine Eidechse. Ich gab mir Mühe jedes Insekt zu sammeln und stellte die Anwesenheit von 13 Arten fest. Spinnen waren dagegen zahlreich vertreten. Eine kleine Ameise schwärmte zu Tausenden unter den lockeren, trocknen Korallenblöcken umher und war das einzige Insekt, welches häufig war. Die langen Landstreifen, aus welchen die gestreckten Inselchen bestehen, erheben sich nur zu derjenigen Höhe, bis zu welcher die Brandung Korallenstücke emporschleudern und der Wind den Kalksand anhäufen kann. Der feste, aus Korallenriffen gebildete Grund an der Aufsenseite bricht vermöge seiner Breite den ersten Anprall der Wogen, die sonst an einem Tage die Inselchen mit all ihren Bewohnern hinwegfegen würden. Meer und Land scheinen hier um die Herrschaft zu kämpfen. Wenn auch das letztere einen Platz errungen hat, so halten doch die Bewohner des nassen Elementes ihre Ansprüche für zum wenigsten ebenso berechtigt. Überall

---

[1]) Diese Pflanzen wurden in den „Annals of Natural History" 1838. pag. 337 beschrieben.



begegnet man Einsiedlerkrebsen, und über unseren Häuptern haben sich zahlreiche Rotgänse, Fregattenvögel und Seeschwalben auf den Bäumen niedergelassen.

Der Ocean schont durchaus nicht den Korallenfelsen. Große über das Riff zerstreute und auf den Strand geschleuderte Bruchstücke, zwischen denen die schlanken Kokosbäume hervordringen, sprechen deutlich für die unwiderstehliche Kraft der Wogen. Da giebt es keinen Moment der Ruhe. Die lange Dünung, durch den zwar mäfsigen, aber beständig wehenden Passat erzeugt, welcher immer in einer Richtung über die gewaltige Wasserfläche bläst, ruft eine Brandung hervor, die an Kraft der in gemäfsigten Regionen durch einen Sturm erzeugten Brandung fast gleich kommt. Dabei hört dieselbe niemals auf zu wüten. Man kann diese Wogen nicht ansehen ohne das Gefühl der Überzeugung, dafs eine Insel, möge sie auch aus dem härtesten Granit oder Quarz bestehen, schliefslich nachgeben und durch eine solch unwiderstehliche Kraft vernichtet werden müsse. Dennoch halten diese niedrigen unbedeutenden Koralleninseln stand, ja gehen als Sieger aus dem Kampfe hervor. Gegen die Gewässer ergreift nämlich eine zweite Macht Partei in diesem Streite. Das organische Leben sondert die Molekeln des kohlensauren Kalkes eine nach der andern von den schäumenden Wellen ab und baut sie zu einem symmetrischen Gebilde auf. Mag dann der Orkan auch tausende von Blöcken losreifsen. Was will das heifsen gegen die Summe von Arbeit, welche Myriaden kleiner Baumeister verrichten, die Tag und Nacht, einen Monat wie den andern, ununterbrochen thätig sind? So sehen wir den weichen gelatinösen Leib eines Polypen vermöge der Wirkung der Lebensgesetze die gewaltige mechanische Kraft besiegen, welche den Wogen des Meeres innewohnt, eine Kraft, der weder die Kunst des Menschen, noch die leblosen Werke der Natur erfolgreich Widerstand zu leisten vermögen.

12. April. Wir verliefsen morgens die Lagune, um unsere Reise nach Isle de France fortzusetzen. Ich freue mich, dafs wir diese Inseln besucht haben. Derartige Bildungen gehören sicherlich zu den wunderbarsten Erscheinungen der Welt. Kapitän Fitzroy fand mit einem Lot von 7200 Fufs Länge keinen Grund, als wir nur 2200 Ellen von der Küste entfernt waren. Die Insel besteht also aus einem hohen submarinen Berg, dessen Abhänge steiler sind als diejenigen der abschüssigsten vulkanischen Kegel.

Ich will jetzt eine kurze Beschreibung der drei grofsen Klassen von Korallenriffen, nämlich der Atolls, der Barrierenriffe und der Strandriffe, geben und meine Ansichten über ihre Bildung entwickeln. Fast jeden Reisenden, der den Stillen Ocean durchfuhr, haben die Laguneninseln oder die Atolls, wie ich sie mit ihrem indischen Namen nennen werde, in das höchste Erstaunen gesetzt und zu einem Erklärungsversuch veranlafst. Die beifolgende Skizze der Whitsunday-Insel[1]) im Stillen Ocean (Fig. 38) giebt uns eine



**Fig. 39. Ansicht von Whitsunday-Island. (Aus Darwins Journal of researches during the voyage round the world. London 1870. S. 466.)**

ungefähre Vorstellung von dem sonderbaren Anblick eines solchen Atolls. Es ist eins der kleinsten, und die Inselchen, die dasselbe bilden, haben sich zu einem Ringe zusammengeschlossen. Die Unermefslichkeit des Oceans, die Wut der Brandung bilden gegenüber der geringen Erhebung des Landes und der Ruhe des glänzenden grünen Wassers im Innern der Lagune einen Kontrast, den man sich kaum vorstellen kann, wenn man ihn nicht kennen gelernt hat. Die älteren Reisenden glaubten, die Korallenbauten aufführenden Geschöpfe würden durch den Instinkt dazu veranlafst, grofse Ringwälle zu errichten, um sich dadurch auf der inneren Seite einen Schutz zu verschaffen. Diese Erklärung trifft den wahren Sachverhalt aber durchaus nicht. Die kräftigen Korallenarten nämlich, von deren Wachstum an der exponierten äufseren Seite die Existenz des Riffes eigentlich abhängt, können im Innern der Lagune gar nicht leben.

Eine Erklärung, welche am meisten Anklang gefunden hat, ist die, dafs die Atolls auf submarinen Kratern errichtet seien. Wenn wir indes die Gestalt und Ausdehnung einiger derselben,

[1]) Pfingstsonntaginsel.

sowie die Zahl und relative Lage anderer betrachten, so erscheint eine solche Erklärung nicht mehr stichhaltig. Das Atoll Suadiva besitzt z. B. einen Durchmesser von 44 Meilen in der einen und 34 Meilen in der anderen Richtung. Bow-Atoll ist 30 Meilen lang und durchschnittlich nur 6 breit. Diese Theorie läfst sich ferner unmöglich auf die nördlichen Malediven im Indischen Ocean anwenden. Letztere sind nämlich nicht wie gewöhnliche Atolls durch schmale Riffe verbunden, sondern aus einer grofsen Anzahl getrennter Atolls zusammengesetzt, während aus den grofsen in der Mitte gelegenen lagunenartigen Binnenräumen andere kleine Atolls sich erheben.

Kapitän Fitzroy hat zahlreiche sorgfältig ausgeführte Lotungen an der steilen Aufsenseite des Keeling-Atoll angestellt. Dabei zeigte sich, dafs innerhalb der Tiefe von 10 Faden die den Boden des Bleilots ausfüllende Talgmasse beim Emporheben jedesmal Eindrücke von lebenden Korallen aufwies und so vollkommen rein war, als ob das Lot auf einen Rasenteppich hinabgelassen worden wäre. Mit zunehmender Tiefe wurden die Abdrücke weniger zahlreich, dafür nahmen die hängen gebliebenen Sandteilchen mehr und mehr zu, bis es zuletzt augenscheinlich war, dafs der Grund aus einem glatten Sandlager bestand. Aus diesen von vielen anderen bestätigten Beobachtungen kann mit Sicherheit geschlossen werden, dafs die äufserste Tiefe, bis zu welcher die Korallen ihre Riffe bauen können, zwischen 20 und 30 Faden liegt. Nun giebt es ungeheure Räume im Stillen und Indischen Ocean, wo jede Insel eine Korallenbildung vorstellt und nur zu einer Höhe emporragt, bis zu welcher die Wogen Bruchstücke aufwerfen und der Wind den Sand anhäufen kann. Aus der Thatsache, dafs die riffbildenden Korallen nicht in gröfseren Tiefen leben können, geht mit Bestimmtheit hervor, dafs innerhalb weiter Meeresflächen, wo immer jetzt ein Atoll existiert, ein ursprüngliches Fundament innerhalb einer Tiefe von 20—30 Faden unter der Oberfläche vorhanden gewesen sein mufs. Es ist nun im höchsten Grade unwahrscheinlich, dafs breite hohe einzeln stehende und steile Ablagerungen, in Gruppen und Linien von vielen Meilen Länge angeordnet, an den tiefsten Stellen des Stillen und Indischen Oceans, weit entfernt von jedem Kontinent und zwar da, wo das Wasser vollkommen klar ist, entstanden sein könnten. Ebenso unwahrscheinlich ist es, dafs die gebirgsbildenden Kräfte innerhalb ausgedehnter Gebiete ungezählte gewaltige Felskuppen bis zu dem Niveau von 20—30 Faden unter der Oberfläche des Meeres emporgehoben haben sollten und

nicht eine einzige Stelle über diese Höhe hinaus. Wo giebt es auf der ganzen Erde auch nur eine einzige Bergkette von mehreren hundert Meilen Länge, deren Gipfel nur um wenige Fuſs von einem gegebenen Niveau abwichen, so daſs kein einziger dasselbe überschritte.

Bevor wir erklären, wie atollartige Riffe ihren eigentümlichen Bau erhalten haben, müssen wir uns der zweiten groſsen Gruppe, nämlich den Barriereriffen, zuwenden. Dieselben erstrecken sich entweder in geraden Linien gegenüber den Küsten eines Kontinents oder einer groſsen Insel, oder sie umschlieſsen kleinere Inseln. In beiden Fällen sind sie vom Lande durch einen breiten, ziemlich tiefen Kanal getrennt, welcher der Lagune im Innern eines Atolls entspricht.

Es ist sonderbar, wie wenig Aufmerksamkeit man den ringförmigen Barriereriffen gezollt hat, die doch wirklich wunderbare Bildungen sind. Die nachstehende Skizze stellt einen Teil des Riffes dar, welches die Insel Bolabola im Stillen Ocean umgiebt, gesehen von einem der den centralen Teil bildenden Berggipfel.

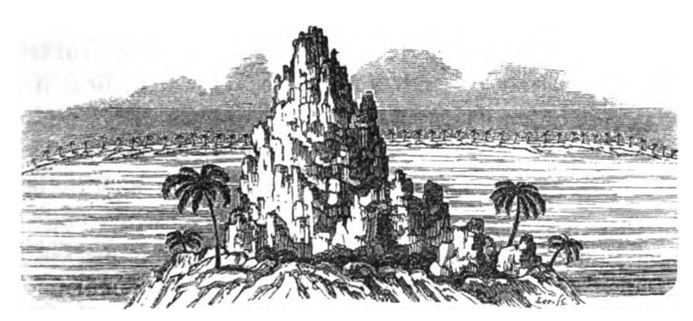


Fig. 40. Die Insel Bolabola im Stillen Ocean. (Aus Darwins Journal of researches during the voyage round the world. London 1780. S. 469.)

In diesem Falle ist die gesamte Linie des Riffes in Land verwandelt worden. In der Regel trennt nur eine schneeweiſse Linie brandender Wellen, hier und dort durch ein niedriges, mit Kokosnuſsbäumen gekröntes Inselchen unterbrochen, die dunklen schwellenden Gewässer des Oceans von der hellgrünen Fläche des Kanals. Das ruhige Wasser des letzteren umspült gewöhnlich einen Saum von niedrigem, angeschwemmten Land, der mit den lieblichsten Erzeugnissen der Tropen bedeckt ist, während darüber das wilde, steile Gebirge des mittleren Teils der Insel sich erhebt.

Ringförmige Barriereriffe giebt es in jeder Gröfse, von 3 bis nicht weniger als 44 Meilen Durchmesser. Dasjenige, welches Neu-Kaledonien auf einer Seite gegenüberliegt und seine beiden Enden einschliefst, ist sogar 400 Meilen lang. Jedes derartige Riff umgiebt eine, zwei oder mehr felsige Inseln von verschiedener Höhe und läuft in gröfserer oder geringerer Entfernung dem eingeschlossenen Lande parallel. Bei den Gesellschaftsinseln beträgt die Entfernung gewöhnlich 1—3 oder 4 Meilen; bei Hogolen ist das Riff dagegen auf der Südseite 20, auf der Nordseite 14 Meilen von dem eingeschlossenen Lande entfernt. Die Tiefe des Kanals ist gleichfalls sehr verschieden; durchschnittlich wechselt sie zwischen 10 und 30 Faden. Bei Vanikoro indes ist derselbe stellenweise nicht weniger als 56 Faden tief. Auf der inneren Seite fällt das Riff entweder allmählich zum Kanal ab, oder es endet mit einer senkrechten Wand. Auf der Aufsenseite dagegen erhebt es sich gleich einem Atoll mit äufserst steilen Abhängen aus den tiefen Gründen des Weltmeers. Was kann merkwürdiger sein als diese Bildungen? Der Geograph Balbi hat mit Recht bemerkt, dafs eine von einem ringartigen Riff eingeschlossene Insel ein Atoll ist, aus dessen Lagune hohes Land emporragt. Entfernt man das Land aus der Mitte, so bleibt ein vollkommenes Atoll zurück.

Wir kommen nun zur dritten Klasse der Saumriffe. Wo das Land sich steil unter das Wasser senkt, sind derartige Riffe nur einige Ellen breit und bilden einen blofsen Rand oder Saum rings um die Küste. Wo hingegen das Land allmählich abfällt, ist das Riff ausgedehnter und erstreckt sich mitunter sogar eine Meile weit vom Lande fort. In solchen Fällen zeigen aber die Lotungen an der Aufsenseite des Riffes immer, dafs die submarine Fortsetzung des Landes sanft geneigt ist. In der That, das Riff erstreckt sich nur bis zu derjenigen Entfernung von der Küste, in welcher eine Grundlage innerhalb der erforderlichen Tiefe von 20—30 Faden vorhanden ist. Da die Korallen kräftiger an der Aufsenseite wachsen, und die nach innen gespülten Sedimente einen schädlichen Einflufs ausüben, so ist der äufsere Rand des Riffes der höchste Teil, und zwischen diesem und dem Lande befindet sich gewöhnlich ein seichter sandiger Kanal von einigen Fufs Tiefe.

Keine Theorie über die Bildung der Korallenriffe kann als erschöpfend angesehen werden, welche nicht allen drei Klassen dieser Bildungen Genüge leistet. Gehen wir von einer mit einem Saumriff umgebenen Insel aus, deren Bau keine Schwierigkeiten aufweist. Man nehme jetzt an, dafs diese Insel mit ihrem Riff

sich langsam senkt. In dem Maſse, wie dies geschieht, wird die lebende Masse, die sich am Rande des Riffes in der Brandung badet, die Oberfläche wieder gewinnen. Das Wasser wird indessen Schritt für Schritt an der Küste emporsteigen, so daſs die Insel niedriger und kleiner, und dementsprechend der Raum zwischen dem inneren Rande des Riffes und der Küste breiter wird. Hätten wir an Stelle der Insel die Küste eines von einem Strandriff umgebenen Kontinents angenommen und uns vorgestellt, daſs dieser gesunken sei, so würde ohne Zweifel ein gewaltiges gestrecktes Barriereriff, vom Lande durch einen breiten tiefen Kanal getrennt, entstanden sein, wie es bei Australien und Neu-Kaledonien der Fall ist. Sinkt das Barriereriff langsam abwärts, so werden die Korallen fortfahren kräftig aufwärts zu wachsen; in dem Maſse aber, wie die Insel sinkt, wird das Wasser Zoll für Zoll die Küste erobern, die Bergspitzen, welche zuerst getrennte Inseln innerhalb eines gröſseren Riffes bildeten, werden verschwinden, bis endlich der letzte und höchste Gipfel untertaucht. In dem Augenblick, wo dies eintritt, hat sich ein vollkommenes Atoll gebildet.

Man kann fragen, ob sich irgend ein direktes Anzeichen für das Untertauchen der Barriereriffe oder Atolls nachweisen läſst: doch darf man nicht auſser Acht lassen, wie schwierig es immer sein muſs, eine Bewegung zu entdecken, welche darauf hinausläuft, den davon betroffenen Teil unter dem Wasser zu verbergen. Nichtsdestoweniger beobachtete ich auf Keeling-Atoll an allen Ufern der Lagune alte unterminierte und im Fallen begriffene Kokosnuſsbäume und an einer Stelle die Grundpfeiler eines Schuppens, der nach Aussage der Bewohner vor 7 Jahren gerade über der Hochwassermarke gestanden hatte, jetzt aber täglich von der Flut bespült wurde.

Es ist offenbar, daſs unserer Theorie gemäſs Küsten, welche nur Saumriffe besitzen, sich nicht in nennenswertem Maſse gesenkt haben können; sie müssen seit dem Wachstum ihrer Korallen entweder im Zustande der Ruhe oder der Aufwärtsbewegung gewesen sein. Es ist nun bemerkenswert, wie allgemein sich durch das Vorhandensein emporgehobener organischer Überreste nachweisen läſst, daſs die mit Saumriffen versehenen Inseln emporgehoben worden sind. Dies ist ein indirekter Beweis zu Gunsten unserer Theorie.

Man hat mit Erstaunen bemerkt, daſs Atolls, obgleich sie die gewöhnlichsten Korallenbauten in einigen ausgedehnten oceanischen Gebieten sind, in anderen Meeren gänzlich fehlen, wie z. B. in

Westindien. Wir werden jetzt sofort den Grund einsehen. Wo nämlich keine Senkung stattfindet, konnten sich auch keine Atolls bilden; und was Westindien und gewisse Teile Ostindiens anbelangt, so ist von diesen Gebieten bekannt, dafs dieselben sich in der neuesten geologischen Epoche im Zustande der Erhebung befunden haben.

Wir erblicken also in jedem Barriereriff einen Beweis dafür, dafs sich das Land daselbst gesenkt hat, und in jedem Atoll ein über einer untergegangenen Insel errichtetes Denkmal. Wir vermögen dergestalt, ähnlich einem Geologen, der die letzten 10000 Jahre erlebt hätte und über die stattgefundenen Veränderungen berichten würde, einige Einsicht in das grofse System zu gewinnen, nach welchem die Erdrinde geborsten ist, und Land und Wasser abgewechselt haben.

## 55. Die erste Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns. 1838.

### Bessel, Messung der Entfernung des 61. Sterns im Sternbilde des Schwans[1]).

*Friedrich Wilhelm Bessel wurde am 22. Juli 1784 zu Minden geboren. Während er in Bremen als Kaufmannslehrling thätig war, widmete er sich in seinen Mufsestunden mit unermüdlichem Eifer mathematischen und astronomischen Studien. 1804 verfafste er die erste selbständige Arbeit, welche über den Kometen vom Jahre 1607 (Siehe 10) handelte, und wurde 1810 als Astronom nach Königsberg berufen, wo er 1846 starb. Durch seine Bestimmung der Fixsternparallaxe, von der in folgendem die Rede ist, erfüllte er eine seit Aufstellung des Kopernikanischen Systems erhobene Forderung, indem dadurch ein direkter Nachweis der Bewegung der Erde um die Sonne erbracht wurde.*

Als Kopernikus zu dem grofsartigen Resultate gelangte, dafs nicht nur die Planeten, sondern auch die Erde sich um die

[1]) Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände von F. W. Bessel. Nach dem Tode des Verfassers herausgegeben von H. C. Schuhmacher. Hamburg 1848. Die wissenschaftlichen Abhandlungen Bessels über diesen Gegenstand wurden 1838—1840 in den Astronomischen Nachrichten veröffentlicht. Siehe auch Bessels Abhandlungen, herausgegeben von Rudolf Engelmann, Leipzig 1875. 2. Bd. S. 217—236.

Sonne bewege, da konnte nicht mehr bezweifelt werden, dafs alle von der Erde aus gesehenen Gegenstände, die an der Bewegung der Erde nicht Anteil nehmen, Bewegungen an der Himmelskugel zeigen müssen, selbst wenn sie an sich unbeweglich sind. Denn, da die Erde während eines Jahres durch alle Punkte ihrer Bahn läuft, so müssen alle während dieser Zeit von ihr nach einem nicht mit ihr bewegten Punkte gezogenen Gesichtslinien sich in diesem Punkte durchschneiden, also nach und nach verschiedene Richtungen annehmen; mit anderen Worten, der Punkt mufs seine Richtungen stetig verändern und während des Jahres eine Bahn an der Himmelskugel zu durchlaufen scheinen. Auch die Fixsterne müssen also diese scheinbaren Bewegungen zeigen und dadurch ihre Stellung verändern. Sie müssen diese Änderungen desto gröfser zeigen, je näher und um so kleiner, je weiter entfernt sie sind; und aus der Gröfse, in welcher sie sie zeigen, mufs sich ihre Entfernung erkennen lassen.

Dieser offenbar richtigen Folgerung aus der kopernikanischen Lehre wird aber durch eine ältere Lehre widersprochen, welche behauptet, dafs die Fixsterne ihre Stellungen nicht ändern. Als Kopernikus mit seinem Weltsystem hervortrat, traten auch Widersprüche dagegen hervor, und unter diesen zeichnete sich der eben angeführte, sowohl durch sein Gewicht als durch die Folgen, welche er hatte, aus. Wirklich waren die Feinde der neuen Lehre vollkommen berechtigt, von den Freunden derselben zu fordern, dafs sie die Bewegungen nachwiesen, welche die Fixsterne zufolge dieser Lehre notwendig haben müssen. Auch konnten die Kopernikaner sich nicht anders schützen als durch die Annahme, die Entfernungen der Fixsterne seien so grofs, dafs selbst die grofse Ortsveränderung, welche die Erde in einem halben Jahre erfährt, nur so kleine Veränderungen ihrer Richtungen hervorbringe, dafs sie schwer zu erkennen seien und sich mit den Unvollkommenheiten der Beobachtungen bis zum Unkenntlichwerden vermischen.

Mit dem neuen Weltsysteme zugleich trat also die Aufgabe hervor, die Schärfe der astronomischen Beobachtungen so zu vergröfsern, dafs dieselben die Bewegungen der Fixsterne nicht mehr verbergen, sondern ihre Gröfse angeben und dadurch die Enfernungen dieser Sterne selbst bestimmen.

Die Geschichte jeder astronomischen Erkenntnis, welche nur durch genauere Beobachtungen erlangt werden konnte, fängt nie

vor, gewöhnlich mit Tycho Brahe[1]) an, welcher nicht nur das wissenschaftliche Gewicht der Genauigkeit der Beobachtungen zuerst gehörig erkannte, sondern sie auch bis zu einem Grade zu vergröfsern wufste, gegen den der früher erreichte beträchtlich zurückbleibt. Er versah seine Sternwarte mit einem Reichtum von Instrumenten, deren Einrichtung und Ausführung ihm erlaubten, seinen Beobachtungen die Sicherheit einer Minute zu geben. Diese bis dahin unerhörte Genauigkeit machte bekanntlich die Entdeckungen über die Bewegungen im Sonnensysteme möglich, welche Kepplers Namen verherrlichen; aber aus den Tychonischen Beobachtungen des Polarsterns ergab sich, trotz der erlangten Vermehrung ihrer Sicherheit, noch kein Einflufs der Ortsveränderungen der Erde auf die Richtungen dieses Sternes.

Ein Fixstern erscheint von der Erde aus an einem Punkte der Himmelskugel, welcher dem Punkte diametral entgegengesetzt ist, wo die Erde, von dem Fixsterne aus erscheint. Während die Erde jährlich ihre Bahn durchläuft, beschreibt also der Fixstern eine scheinbare Bahn an der Himmelskugel, welche der Bahn der Erde, so wie sie von dem Sterne gesehen wird, sowohl der Figur als der Gröfse nach vollkommen gleich ist. Die Bahn der Erde wird aber von dem Sterne aus in derselben Figur gesehen, in welcher ein schief gesehener Kreis erscheint, in der Figur einer Ellipse, und zwar in einer destoweniger geöffneten, je kleiner der Winkel ist, unter welchem die von dem Sterne nach der Sonne gelegte grade Linie die Ebene der Erdbahn schneidet. Verschwindet dieser Winkel ganz, oder befindet sich der Stern in der erweiterten Ebene der Erdbahn selbst, so verschwindet auch die Öffnung der Ellipse, oder diese zieht sich in eine gerade Linie zusammen. Mit dem gröfser werdenden Winkel wird auch ihre Öffnung gröfser, und wenn er ein rechter Winkel ist, oder der Stern senkrecht über der Sonne steht, erscheint auch die Erdbahn von dem Sterne gesehen in ihrer wahren, nicht durch die Perspektive veränderten Figur, welche bekanntlich eine kaum von einem Kreise zu unterscheidende Ellipse ist. Die Gröfse, in welcher die Erdbahn von dem Sterne gesehen wird, hängt dagegen nicht von der Neigung der Gesichtslinie gegen ihre Ebene, sondern allein von der Entfernung des Sternes ab; beträgt diese 57 Halbmesser der Erd-

[1]) Tycho Brahe, 1546—1601, dänischer Astronom, folgte 1597 einem Rufe Kaiser Rudolfs II. nach Prag, wo ihm Keppler bei seinen Arbeiten zur Seite stand.

bahn, so wird der Halbmesser derselben unter einem Winkel von einem Grad gesehen; beträgt sie 3438 Halbmesser, so erscheint der Halbmesser der Erdbahn eine Minute grofs; beträgt die Entfernung 206265 Halbmesser, so geht die scheinbare Gröfse des letzteren auf eine Sekunde herab.

Offenbar müssen die Beobachtungen, durch welche diese jährliche Parallaxe[1]) eines Fixsterns bestimmt werden soll, desto genauer sein, je kleiner die Parallaxe ist.

Die Bestimmung des Abstandes eines Fixsternes, dessen jährliche Parallaxe 30 Sekunden oder 5 Sekunden oder $^1/_2$ Sekunde beträgt, der also beziehungsweise 6875, 41253, 412530 Halbmesser der Erdbahn entfernt ist, ist nicht schwieriger als die Messung der Entfernung eines eine Meile entfernten Gegenstandes von einer Standlinie aus, deren Länge beziehungsweise 7 Fufs, 14 Zoll, $1^2/_5$ Zoll ist. Hat die jährliche Parallaxe eines Fixsterns z. B. die Gröfse einer halben Sekunde, oder ist derselbe 412530 Halbmesser der Erdbahn entfernt, so kann man nicht eher erwarten, das Vorhandensein dieser Parallaxe durch Beobachtungen zu entdecken, als bis es gelungen ist, diesen eine so grofse Schärfe zu geben, dafs sie schon bei einer Ortsveränderung von $1^2/_5$ Zoll eine Veränderung der Richtung nach einem eine Meile entfernten Gegenstande angeben.

Als ich die Genauigkeit kennen lernte, welche das Ende 1829 aufgestellte grofse Heliometer[2]) der Königsberger Sternwarte den Beobachtungen geben kann, nährte sie die Hoffnung, dafs es durch dieses Instrument endlich gelingen werde, die den bisherigen Versuchen, trotz ihrer wachsenden Genauigkeit, sich hartnäckig entziehende jährliche Parallaxe der Fixsterne in günstigen Fällen zu erreichen.

Zum Gegenstand meiner Beobachtungen habe ich die jährliche Parallaxe des 61. Sterns des Schwans gemacht, eines kleinen, dem blofsen Auge kaum sichtbaren Gestirns, das aber nichtsdestoweniger für den nächsten oder einen der nächsten von allen Fixsternen gehalten werden kann und dadurch Anspruch auf vorzugsweise

---

1) Unter der jährlichen Parallaxe eines Sternes versteht man also den Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erdbahn von dem betreffenden Sterne gesehen wird.

2) Das Heliometer von Fraunhofer ist ein Apparat, der dem Astronomen zur Messung sehr geringer Distanzänderungen dient. Das erste aus Fraunhofers Werkstatt hervorgegangene Heliometer ist das von Bessel erwähnte und benutzte; es bildet noch jetzt eine Zierde der Königsberger Sternwarte.

Berücksichtigung erhält. Es ist seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts bekannt, dafs mehrere Fixsterne eigentümliche, stetig fortschreitende Bewegungen an der Himmelskugel zeigen, welche eine Änderung ihrer Stellungen gegen benachbarte Sterne zur Folge haben und endlich die Gruppen, in welchen die Fixsterne erscheinen, gänzlich umgestalten werden.

Der 61. Stern des Schwans besitzt nun die gröfste von allen Eigenbewegungen, welche sich unter den Fixsternen gezeigt hat; sie beträgt jährlich mehr als 5 Sekunden. In gänzlicher Ermangelung eines untrüglichen Grundes, den einen Fixstern für näher zu halten als einen anderen, mag man dem Anzeichen von Nähe, welches eine grofse eigene Bewegung giebt, folgen, wenn man die Wahl des Sternes trifft, welcher der Gegenstand einer Untersuchung über die jährliche Parallaxe werden soll. Auch scheint dieses Anzeichen weniger trüglich zu sein als die Helligkeit eines Sternes, welche bekanntlich ein gänzlich unrichtiges Urteil geben würde, wenn man z. B. die Entfernung der Planeten unseres Sonnensystems danach beurteilen wollte. Als ich die grosse Eigenbewegung des 61. Sterns des Schwans 1812 aus Bradley's Beobachtungen erkannte, hob ich die Aussicht hervor, seine jährliche Parallaxe gröfser zu finden als die fruchtlos gesuchten jährlichen Parallaxen anderer Sterne.

Wegen seiner grofsen eigenen Bewegung also habe ich den 61. Stern des Schwans zum Gegenstande meiner gegenwärtigen Beobachtungen gewählt; er ist ferner ein Doppelstern, den ich mit gröfserer Genauigkeit als einen einzelnen Stern beobachten zu können glaubte; er ist endlich von vielen kleinen Sternen umgeben, unter denen sich Vergleichungspunkte nach Belieben auswählen liefsen.

Meine Beobachtungen sind Messungen der Abstände des in der Mitte zwischen den beiden Sternen des Doppelgestirns liegenden Punktes von zwei Sternen der 9. bis 10. Gröfse, welche sich in seiner Nähe finden und welche ich a und b nennen werde. Die beigedruckte Figur 41 zeigt die gegenseitige Lage des Doppelsterns und dieser beiden kleinen Sterne. Die beiden Sterne des ersteren sind aber, zur Vermehrung der Deutlichkeit, noch einmal so weit von einander entfernt gezeichnet, als sie verglichen mit den letzteren wirklich sind; der auf der rechten Seite stehende ist etwas heller als der andere.

Was fortgesetzte Messungen der Entfernung des Sternes 61 (der Mitte) von jedem der beiden zu seiner Vergleichung gewählten

Sterne a und b über die jährliche Parallaxe lehren können, geht aus der oben gegebenen Entwicklung der Erscheinung, welche sie verursacht, hervor. Der Stern 61 bewegt sich an der Himmelskugel in einer Ellipse, deren Figur durch seine Lage gegen die Ebene der Erdbahn bestimmt ist, und deren gröfster Durchmesser das Doppelte seiner jährlichen Parallaxe ist. Auch der Vergleichsstern beschreibt eine Ellipse von derselben Figur. Diese ist aber in dem Verhältnis kleiner, in welchem seine jährliche Parallaxe kleiner ist, als diejenige von 61. Beide Sterne durchlaufen ihre Ellipsen auf gleiche Art, d. h. sie befinden sich immer an ähnlich liegenden Punkten derselben. Ihr Abstand erfährt also diejenigen Veränderungen, welche aus dem Unterschiede der Gröfsen beider Ellipsen hervorgehen. In dieser Darstellung habe ich nicht der Aberration[1]) gedacht, obgleich sie beide Sterne im Laufe des Jahres weit stärker als die kleine jährliche Parallaxe an der Himmelskugel bewegt. Sie würde offenbar gar keinen Einflufs auf die Entfernung beider Sterne haben, wenn sie beiden genau gleiche Bewegungen an der Himmelskugel gäbe. Allein die Bewegung, welche sie einem Stern giebt, hängt von dem Orte ab, den er an der Himmelskugel einnimmt. Da nun der Ort des Sternes 61 und der Ort des Vergleichssterns zwar einander sehr nahe (von a nur 7 Minuten 22 Sek. entfernt, von b nur 11 Minuten 46 Sek.) sind, jedoch nicht völlig zusammenfallen, so ist wirklich ein kleiner Unterschied der Aberrationen vorhanden, der einen kleinen Einflufs auf die Entfernungen besitzen mufs, aber durch Rechnung leicht bestimmt wird, also keine Schwierigkeit erzeugt.

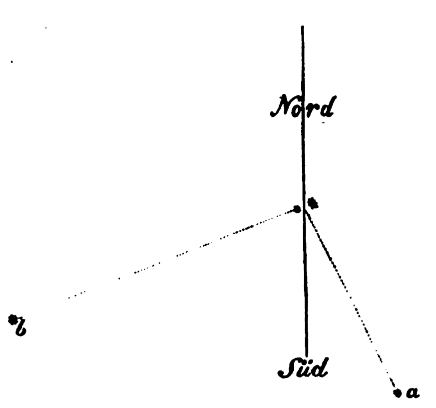


Fig. 41. (Aus Bessel, Populäre Vorlesungen. Fig. pag. 251.)

Ferner habe ich des Einflusses nicht gedacht, welchen die Eigenbewegung des Sterns 61 auf den Abstand ausübt. Dieser Einflufs

[1]) Die Aberration oder scheinbare Verschiebung der Sterne wird dadurch veranlafst, dafs die Geschwindigkeit der Erde zur Geschwindigkeit des Lichtes in einem bestimmten Verhältnisse (1 : 10000) steht. Aus diesem Grunde ist ein Fernrohr in die Resultierende der beiden Bewegungen einzustellen (Bradley 1726).

besteht offenbar in einer sehr nahe gleichförmigen Veränderung des Abstandes, deren Gröfse man berechnen kann, wenn man die eigene Bewegung des Sternes kennt. Hierdurch kann man alle im Laufe der Zeit gemachten Messungen der Entfernung auf diejenigen Werte zurückführen, welche man gemessen haben würde, wenn der Stern 61 unverändert an dem Orte geblieben wäre, wo er sich zu einer bestimmten Zeit, z. B. am Anfange des Jahres 1838, befand.

Das eben Gesagte erläutert, wie aus fortgesetzten Messungen der Entfernung des Sterns 61 von einem jeden der Vergleichungssterne, ein Urteil über den Unterschied der beiden jährlichen Parallaxen hervorgehen mufs. Einer der Vergleichungssterne wäre also schon hinreichende Grundlage der Untersuchung gewesen, allein ich habe deren zwei gewählt, um zwei von einander unabhängige Resultate zu erhalten, welche sich gegenseitig entweder bestätigen oder verdächtig machen konnten. Ich habe diese Beobachtungen am 16. Aug. 1837 angefangen und aus ihrer Fortsetzung bis zum 2. Oktober 1838 die Resultate gezogen, welche ich jetzt mitteilen werde. In dieser Zeit sind 85 Vergleichungen des Sterns 61 mit dem Sterne a und 98 mit dem Sterne b gelungen. Jede derselben ist das mittlere Resultat mehrerer, gewöhnlich 16, in jeder Nacht gemachten Wiederholungen der Messung. Als ich alle gemachten Beobachtungen durch Rechnung von den Einflüssen befreit hatte, welche die Aberration und die eigene Bewegung des Sterns 61 auf die Entfernungen äufserten, zeigten sich sehr deutliche Veränderungen derselben, welche demselben Gesetze folgten, nach welchem eine jährliche Parallaxe des Sternes 61 seine Entfernungen, sowohl von dem Sterne a als von dem Sterne b, im Laufe des Jahres verändern mufste.

Obgleich der Schlufs von der geringen Helligkeit der Sternchen a und b auf eine sehr grofse Entfernung oder eine so kleine jährliche Parallaxe, dafs diese gänzlich unmerklich ist, nicht als sicher betrachtet werden darf, so halte ich es doch der jetzigen Ausdehnung der Beobachtungsreihe angemessen, diesen Schlufs zu verfolgen, und aus der Zusammenfassung der Vergleiche des Sternes 61 mit den Sternen a und b ein mittleres, auf der Voraussetzung der Unmerklichkeit der jährlichen Parallaxen der letzteren Sterne beruhendes Resultat für die jährliche Parallaxe des 61. Sternes zu suchen. Dieser Ansicht bin ich gefolgt und habe dadurch die jährliche Parallaxe des 61. Sterns des Schwans etwas gröfser als 31 Hundertel einer Sekunde gefunden.

Es folgt daraus, dafs seine Entfernung von der Sonne 657 700 Halbmesser der Erdbahn beträgt. Das Licht gebraucht etwas über

10 Jahre, um diese grofse Entfernung zu durchlaufen. Sie ist so grofs, dafs sie nur begriffen, nicht aber versinnlicht werden kann. Alle Versuche, sie anschaulich zu machen, scheitern entweder an der Gröfse der Einheit, wodurch sie gemessen werden soll oder an der Gröfse der Zahl der Wiederholungen dieser Einheit. Die Entfernung, welche das Licht in einem Jahre durchläuft, ist nicht anschaulicher als die, die es in zehn Jahren zurücklegt. Wählt man dagegen eine anschauliche Einheit, z. B. die Entfernung von 200 Meilen, welche ein Dampfwagen täglich durchlaufen kann, so sind 68000 Millionen solcher Tagereisen oder fast 200 Millionen Jahresreisen zur Angabe der Entfernung des Sternes erforderlich.

# 56. Carnot entwickelt eine Theorie der Dampfmaschine. 1824.

## Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers von S. Carnot[1]).

*Sadi Carnot, der zweite Sohn des grofsen Carnot der französischen Revolution, wurde 1796 in Paris geboren, empfing seine Ausbildung auf der École polytechnique und trat dann in die Armee ein, starb aber schon 1832 an der Cholera. In seinen Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers zeigte er sich als ein Vorläufer von R. Mayer, Joule und Helmholtz, den Begründern der mechanischen Wärmetheorie. Hier folgt eine abgekürzte Wiedergabe der Einleitung; in welcher der Grundgedanke Carnots zum Ausdruck gelangt.*

Jeder weifs, dafs die Wärme die Ursache der Bewegung sein kann, dafs sie sogar eine bedeutende bewegende Kraft besitzt; die heute so verbreiteten Dampfmaschinen beweisen dies für jedermann sichtbar. Der Wärme müssen die grofsen Bewegungen zugeschrieben werden, welche uns auf der Erdoberfläche ins Auge fallen; sie

[1]) Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen von S. Carnot. Übersetzt und herausgegeben von W. Ostwald. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 37. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1892. Der Titel des Originals lautet: Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance par S. Carnot. Paris 1824.



verursacht die Strömungen der Atmosphäre, den Aufstieg der Wolken, den Fall des Regens, die Wasserströme, welche die Oberfläche des Erdballs furchen, und von denen der Mensch einen kleinen Teil für seinen Gebrauch nutzbar zu machen gewufst hat; auch Erdbeben und vulkanische Ausbrüche haben gleichfalls die Wärme zur Ursache.

Aus diesem ungeheuren Reservoir können wir die für unsere Bedürfnisse erforderliche bewegende Kraft schöpfen; indem die Natur uns allerorten Brennmaterial liefert, hat sie uns die Möglichkeit gegeben, stets und überall die Wärme und die aus dieser hervorgehende bewegende Kraft zu erzeugen. Der Zweck der Wärmemaschinen besteht darin, diese Kraft zu entwickeln und sie unserem Gebrauch anzupassen.

Das Studium dieser Maschinen ist von höchstem Interesse, denn ihre Wichtigkeit ist ungeheuer, und ihre Anwendung steigert sich von Tag zu Tag. Sie scheinen bestimmt zu sein, eine grofse Umwälzung in der Kulturwelt zu bewirken. Schon beutet die Dampfmaschine unsere Minen aus, bewegt unsere Schiffe, vertieft unsere Häfen und Flüsse, schmiedet das Eisen, gestaltet das Holz, mahlt das Getreide, spinnt und webt unsere Stoffe, schleppt die schwersten Lasten u. s. w. Sie scheint eines Tages der allgemeine Motor werden zu sollen, welcher den Vorzug über die Kräfte der Tiere, den Fall des Wassers und die Ströme der Luft erhält. Dem erstgenannten Motor gegenüber hat sie den Vorzug der Wohlfeilheit, den anderen gegenüber den unschätzbaren Vorzug, immer und überall anwendbar zu sein und niemals ihre Arbeit zu unterbrechen.

Werden einst die Verbesserungen der Dampfmaschine weit genug gediehen sein, um sie weniger kostspielig in der Anlage und bezüglich des Brennmaterials zu machen, so wird sie der Industrie einen Aufschwung ermöglichen, dessen ganze Ausdehnung schwer vorauszusehen ist. Denn es wird nicht nur für die jetzt gebräuchlichen Motoren ein kraftvoller und bequemer Motor eintreten, den man überall erlangen und hinschaffen kann, sondern derselbe wird den Gewerben, in denen er angewendet wird, eine rapide Entwicklung verschaffen, ja er kann ganz neue Gewerbe entstehen lassen.

Der ausgezeichnetste Dienst, welchen die Dampfmaschine England geleistet hat, ist zweifelsohne die Wiederbelebung der Ausbeutung seiner Steinkohlenbergwerke, welche dahinsiechte und infolge der stets wachsenden Schwierigkeiten der Wasserhaltung

und Förderung unterzugehen drohte. Man darf behaupten, dafs seit der Erfindung der Wärmemaschinen sich die Förderung der Steinkohle in England verzehnfacht hat. Ungefähr das Gleiche gilt für die Gewinnung von Kupfer, Zinn und Eisen. Die vor einem halben Jahrhundert durch die Dampfmaschine auf die Minen Englands hervorgebrachte Wirkung wiederholt sich heute an den Gold- und Silberminen der neuen Welt, deren Ansbeutung sich von Tag zu Tag namentlich infolge der ungenügenden Beschaffenheit der Wasserhaltungs- und Förderungsmaschinen verminderte. In zweiter Linie müssen die der Eisenindustrie geleisteten Dienste erwähnt werden, sowohl bezüglich des reichlichen Ersatzes des Holzes, das soeben anfing, sich zu erschöpfen, wie auch bezüglich der Kraftmaschinen aller Art, deren Anwendnng die Dampfmaschine erleichtert oder ermöglicht hat.

Eisen und Feuer sind bekanntlich die Nahrung und Stütze der mechanischen Gewerbe. In England ist vielleicht keine einzige Fabrik, deren Bestehen nicht auf den Gebrauch dieser Agentien begründet wäre, und in welcher sie nicht reichlich zur Verwendung kämen. Entzöge man England heute seine Dampfmaschinen, so raubte man ihm Kohle und Eisen, man hemmte alle Quellen seines Reichtums und vernichtete alle Mittel seiner Entwicklung; es hiefse dies, jene kolossale Macht vernichten. Die Zerstörung seiner Marine, welche es als seinen sichersten Schutz betrachtet, würde für England vielleicht weniger tödlich sein.

Die schnelle und sichere Schiffahrt mittelst der Dampfschiffe kann als eine völlig neue, durch die Wärmemaschinen bedingte Kunst angesehen werden. Bereits hat dieselbe über die Meeresarme und die grofsen Flüsse des alten und neuen Kontinents die Einrichtung schneller und regelmäfsiger Verbindungen herbeigeführt. Sie hat das Durchmessen noch wilder Gebiete ermöglicht, in die man früher kaum eindringen konnte; sie hat gestattet, die Früchte der Kultur an Orte des Erdballs zu tragen, wo sie sonst noch viele Jahre hätten auf sich warten lassen. Die Dampfschiffahrt nähert in gewissem Sinne die fernsten Nationen einander. Sie verbindet die Völker der Erde, als bewohnten sie dasselbe Land. Ist die Verminderung der Dauer, der Anstrengungen, der Unsicherheit und Gefahren der Reisen in der That nicht gleichbedeutend mit einer erheblichen Verkürzung der Entfernungen?

Wir sagen Verminderung der Gefahren des Reisens, denn wenn auch die Anwendung einer Dampfmaschine auf einem Schiffe einige, übrigens sehr übertriebene Gefahren mit sich bringt, so

werden diese mehr als aufgewogen durch die Möglichkeit, sich stets auf einem regelmäfsig befahrenen und wohlbekannten Wege zu halten und der Wirkung des Windes zu widerstehen, wenn diese das Schiff gegen Küsten, Untiefen und Klippen treiben.

Die Wärmemaschinen verdanken ihre Entstehung, wie die meisten menschlichen Erfindungen, rohen Versuchen, welche verschiedenen Männern zugeschrieben worden sind, und deren wahren Urheber man nicht kennt. Auch besteht der wesentliche Teil der Erfindung nicht so sehr in diesen ersten Versuchen als in den folgeweisen Verbesserungen, welche die Dampfmaschine in denjenigen Zustand gebracht haben, in welchem wir sie heute sehen. Zwischen den ersten Vorrichtungen, mittelst deren man die Ausdehnungskraft des Dampfes hervorgerufen hat und den gegenwärtigen Maschinen besteht vielleicht ein nicht geringerer Unterschied, wie zwischen dem ersten Flofs, welches die Menschen gebaut haben, und einem Dreidecker.

Wenn die Ehre einer Erfindung derjenigen Nation zukommt, bei welcher sie ihr Wachstum und ihre Entwicklung erfahren hat, so kann hier diese Ehre England nicht versagt werden. Savery, Newcomen, der berühmte Watt und einige andere englische Techniker sind die eigentlichen Schöpfer der Dampfmaschine; aus ihren Händen hat sie die folgeweisen Stufen ihrer Vervollkommnung erlangt. Es ist übrigens naturgemäfs, dafs eine Erfindung dort entsteht, wo das Bedürfnis nach ihr sich am zwingendsten geltend macht.

Trotz der mannigfaltigen Arbeiten über die Wärmemaschinen, trotz des befriedigenden Zustandes, zu dem sie gegenwärtig gelangt sind, ist ihre Theorie sehr wenig fortgeschritten, und die Versuche zu ihrer Verbesserung hängen fast nur vom Zufall ab.

Man hat oft die Frage erwogen, ob die bewegende Kraft der Wärme beschränkt ist oder unendlich, ob die möglichen Verbesserungen eine angebbare Grenze haben, welche durch irgend welche Mittel zu überschreiten der Natur der Sache nach unmöglich ist, oder ob im Gegenteil die Verbesserungen einer unbegrenzten Ausdehnung fähig sind. Auch hat man seit langem nach Agentien gesucht und sucht sie noch heute, welche dem Wasserdampf zum Zwecke der Entwicklung der bewegenden Kraft vorzuziehen sind, und sich beispielsweise gefragt, ob nicht die Luft in dieser Beziehung grofse Vorteile biete. Wir beabsichtigen, diese Frage hier einer eingehenden Betrachtung zu unterziehen.

Die Erzeugung von Bewegung ist bei den Wärmemaschinen stets an einen Umstand geknüpft, auf welchen wir die Aufmerk-

samkeit lenken müssen. Dieser Umstand ist die Wiederherstellung des Gleichgewichts der Wärme, d. h. ein Übergang der Wärme von einem Körper mit mehr oder weniger erhöhter Temperatur auf einen anderen, dessen Temperatur niedriger ist. Was geschieht denn thatsächlich in einer in Thätigkeit befindlichen Dampfmaschine? Die in der Feurung durch Verbrennung entwickelte Wärme durchdringt die Wände des Kessels und erzeugt den Dampf; dieser nimmt sie mit sich, führt sie zum Cylinder, wo sie irgend einen Dienst thut und von dort in den Kondensator. In letzter Linie bemächtigt sich daher das kalte Wasser des Kondensators der durch die Verbrennung entwickelten Wärme. Es erwärmt sich durch Vermittlung des Dampfes, wie wenn es unmittelbar über die Feurung gebracht worden wäre. Der Dampf ist hier nur ein Mittel die Wärme fortzuschaffen.

Bei den geschilderten Vorgängen erkennt man leicht die Herstellung des Gleichgewichts der Wärme, ihren Übergang von einem mehr oder weniger erhitzten Körper auf einen kälteren. Der erste dieser Körper besteht hier aus den Feuergasen, der zweite ist das Kondensationswasser. Die Herstellung des Gleichgewichts erfolgt zwischen beiden, wenn auch nicht vollständig, so doch teilweise; denn einerseits entweichen die Verbrennungsgase, nachdem sie den Dampfkessel umspült und das Ihrige gethan haben, bei einer Temperatur, die weit unterhalb derjenigen ist, die sie durch die Verbrennung erlangt hatten; andererseits tritt das Wasser des Kondensators, nachdem es den Dampf verflüssigt hat, aus der Maschine mit einer höheren Temperatur als diejenige war, welche es vorher besafs.

Nach diesem Prinzip genügt es zur Gewinnung bewegender Kraft nicht, Wärme hervorzubringen; man mufs sich auch Kälte verschaffen; ohne sie wäre die Wärme unnütz. In der That wären um die Feurung nur Körper vorhanden, welche ebenso heifs sind, wie diese, wie könnte man die Verdichtung des Dampfes bewirken? Wo würde man ihn hinbefördern, nachdem er einmal entstanden ist? Man darf nicht glauben, dafs man ihn in die Luft treiben könnte, die Luft würde ihn nicht aufnehmen. Sie nimmt ihn unter den gegenwärtigen Verhältnissen nur auf, weil sie ihm gegenüber wie ein ungeheurer Kondensator wirkt, weil sie sich bei niedrigerer Temperatur befindet.

Überall, wo ein Temperaturunterschied besteht, und wo daher die Wiederherstellung des Gleichgewichts der Wärme eintreten kann, kann auch die Erzeugung von bewegender Kraft stattfinden. Der

Wasserdampf ist ein Mittel zur Erlangung dieser Kraft, aber er ist nicht das einzige; alle Stoffe der Natur können zu diesem Zwecke benutzt werden; alle sind fähig, Volumänderungen, folgeweise Zusammenziehungen und Ausdehnungen durch den Wechsel der Wärme und Kälte zu erfahren; alle sind fähig, bei ihren Volumänderungen bestimmte Widerstände zu überwinden und auf diese Weise bewegende Kraft zu entwickeln. Ein fester Körper, beispielsweise ein metallener Stab, vermehrt und vermindert seine Länge, wenn er abwechselnd erwärmt und abgekühlt wird, und vermag Körper zu bewegen, die an seinen Enden befestigt sind. Eine abwechselnd erwärmte und abgekühlte Flüssigkeit vermehrt und vermindert ihr Volumen und kann mehr oder weniger erhebliche Hindernisse überwinden, die sich ihrer Ausdehnung entgegenstellen. Eine gasförmige Flüssigkeit kann durch Temperaturänderungen erhebliche Änderungen des Volumens erfahren. Wenn sie sich in einem mit einem Kolben versehenen Cylinder befindet, kann sie ausgedehnte Bewegungen hervorbringen. Die Dämpfe aller Stoffe, welche in den Gaszustand übergehen können, des Alkohols, Quecksilbers, Schwefels etc. könnten denselben Dienst thun, wie der Wasserdampf. Dieser bringt, wenn er abwechselnd erhitzt und abgekühlt wird, bewegende Kraft nach Art der permanenten Gase hervor, d. h. ohne jemals in den flüssigen Zustand überzugehen. Die Mehrzahl dieser Mittel ist vorgeschlagen, mehrere sind selbst versucht worden, wenn auch bisher ohne erheblichen Erfolg.

Die Wärme kann offenbar die Bewegung nur dadurch hervorrufen, dafs sie Änderungen des Volumens oder der Gestalt in den Körpern erzeugt; diese Änderungen rühren von Abwechselungen der Wärme und Kälte her. Überall, wo ein Temperaturunterschied besteht, kann die Erzeugung von bewegender Kraft stattfinden. Umgekehrt ist es stets möglich, wo man eine solche Kraft anwenden kann, Temperaturunterschiede entstehen zu lassen. Der Stofs, die Reibung der Körper, sind sie nicht thatsächlich Mittel, ihre Temperatur zu erhöhen, sie auf einen Grad zu bringen, der höher ist als derjenige der Umgebung, und folglich eine Störung des Gleichgewichts der Wärme dort hervorzubringen, wo bis dahin Gleichgewicht bestand? Es ist eine experimentelle Thatsache, dafs die Temperatur der Gase durch Verdichten höher und durch Verdünnen niedriger wird. Es ist dies ein sicheres Mittel, an demselben Objekt die Temperatur zu ändern und das Gleichgewicht der Wärme zu stören, so oft man will.

# 57. Das Prinzip von der Erhaltung der Kraft. 1842.

## R. Mayer, Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel[1]).

*Julius Robert Mayer wurde am 25. November 1814 zu Heilbronn geboren. Als Arzt von physiologischen Beobachtungen ausgehend, gelangte er schon im Jahre 1842 zu einem annähernd richtigen Wert für das mechanische Wärmeäquivalent. In der hier auszugsweise wiedergegebenen Schrift vom Jahre 1845 führte er eingehender aus, wie sich durch sein Prinzip die Mannichfaltigkeit der Naturerscheinungen verknüpfen lasse. Mayers Verdienste wurden erst spät gewürdigt. Er starb am 20. März 1878.*

Soll eine ruhende Masse in Bewegung gesetzt werden, so ist dazu ein Aufwand von Kraft erforderlich. Eine Bewegung entsteht nicht von selbst; sie entsteht aus ihrer Ursache, aus der Kraft.

Die Kraft, als Bewegungsursache, ist ein unzerstörbares Objekt. Es entsteht keine Wirkung ohne Ursache, keine Ursache vergeht ohne entsprechende Wirkung.

Die quantitative Unveränderlichkeit des Gegebenen ist ein oberstes Naturgesetz, das sich auf gleiche Weise über Kraft und Materie erstreckt.

Die Chemie lehrt uns die qualitativen Veränderungen kennen, welche die gegebenen Materien unter verschiedenen Umständen erleiden, und liefert dabei in jedem einzelnen Falle den Beweis, dafs bei den chemischen Prozessen nicht das Gewicht des Gegebenen geändert wird.

Was die Chemie bezüglich der Materie, das hat die Physik bezüglich der Kraft zu leisten. Die Kraft in ihren verschiedenen Formen kennen zu lernen, die Bedingungen ihrer Metamorphosen zu erforschen, dies ist die einzige Aufgabe der Physik, denn die Erschaffung oder die Vernichtung einer Kraft liegt aufser dem Bereiche menschlichen Denkens und Wirkens.

Ob es in zukünftigen Zeiten je gelingen werde, die zahlreichen chemischen Grundstoffe in einander zu verwandeln, sie auf wenige

---

1) Die Mechanik der Wärme, in gesammelten Schriften von J. R. Mayer. Stuttgart 1867.



Elemente oder gar auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen, ist mehr als zweifelhaft. Nicht das Gleiche gilt von den Bewegungsursachen. Es wird durch die Erfahrung überall bestätigt, dafs die verschiedenen Kräfte sich ineinander verwandeln lassen. Es giebt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur.

Die Bewegung ist eine Kraft. Bei der Aufzählung der Kräfte verdient sie die erste Stelle.

Wenn eine bewegte Masse auf eine ruhende trifft, so wird die letztere in Bewegung gesetzt, während die erstere an Bewegung verliert.

Stöfst der weifse Ball den roten central an, so verliert der weifse seine Bewegung und der rote geht mit dessen Geschwindigkeit fort. Die Bewegung des weifsen ist es, welche aufgewendet die Bewegung des roten hervorgebracht oder sich in die letztere verwandelt hat. Die Bewegung des weifsen Balles ist eine Kraft. Die Bewegung des roten ist als Wirkung ihrer Ursache gleich, sie ist ebenfalls eine Kraft.

Eine ruhende Masse, in irgend einer Entfernung von dem Erdboden sich selbst überlassen, setzt sich sofort in Bewegung und langt mit einer berechenbaren Endgeschwindigkeit auf dem Boden an. Die Bewegung dieser Masse kann nicht ohne Aufwand von Kraft entstanden sein. Welches ist nun diese Kraft? Man wird leicht gewahr, dafs die Erhebung des Gewichtes die Ursache der Bewegung desselben ist. Ein Gewicht war 5 Meter über dem Boden in Ruhe; durch Herabfallen hat es die Geschwindigkeit von 10 Metern in einer Sekunde erlangt. Aufgewendet wurde die Erhebung, erzeugt wurde die Bewegung der Last.

Gewichtserhebung ist Bewegungsursache, ist Kraft.

Jahrtausende lang war das Menschengeschlecht zur Lösung einer immer wiederkehrenden Aufgabe, nämlich ruhende Massen mit den Hülfsmitteln der anorganischen Natur in Bewegung zu setzen, fast ausschliefslich auf die Verwendung gegebener mechanischer Effekte beschränkt. Einer neuen Zeit war es vorbehalten, den Kräften der alten Welt, der strömenden Luft und dem fallenden Wasser, noch eine andere Kraft hinzuzufügen. Diese dritte Kraft, deren Wirkungen unser Jahrhundert mit Bewunderung erblickt, ist die Wärme.

Die Wärme ist eine Kraft; sie läfst sich in mechanischen Effekt verwandeln.

Einer Masse von 50000 kg, einem Eisenbahnzug, soll die Geschwindigkeit von 18 Metern in einer Sekunde erteilt werden. Durch den Aufwand der erforderlichen Menge gegebener Bewegung oder Fallkraft läſt sich diesem Verlangen entsprechen, und es werden die Wagen z. B. durch Herabrollen über eine geneigte Ebene die gewünschte Bewegung erhalten. Der Zug wird aber in der Regel ohne Aufwand von Fallkraft in Bewegung gesetzt und trotz Reibung u. s. w. darin erhalten. Wenn man als Äquivalent der Reibung eine Steigung der Bahn von $^1/_{150}$ annimmt, so wird bei einer Geschwindigkeit von 10 Metern die Last in einer Stunde 240 Meter hoch gehoben, was der einstündigen Arbeit von circa 45 Pferden entspricht. Diese enorme Menge erzeugter Bewegung setzt eine gleich groſse Menge einer aufgewendeten Kraft voraus. Die in den Lokomotiven wirksame Kraft ist die Wärme.

Der Aufwand von Wärme oder die Verwandlung der Wärme in Bewegung beruht nun darauf, daſs die Wärmemenge, welche der Dampf aufnimmt, fortwährend gröſser ist als diejenige, welche er bei seiner Verdichtung wieder an die Umgebung abgiebt. Die Differenz ergiebt die nutzbar gemachte oder die in mechanischen Effekt verwandelte Wärme.

Ein Teil der Wärme, welche durch die Verbrennung der Kohle gewonnen wird, teilt sich der Umgebung mit und geht so für mechanische Zwecke verloren. Je vollkommener nun der Apparat ist, um so weniger wird verhältnismäſsig Wärme an die Umgebung abgesetzt. Die besten Maschinen geben nahezu 5 Prozent Differenz; 100 ℔ Steinkohlen liefern in einer solchen Maschine keine gröſsere Menge von freier Wärme, als 95 ℔ Steinkohlen abgeben, welche ohne Arbeit verbrennen.

Die Verwandlung von mechanischem Effekt in Wärme lehrt uns allenthalben die Erfahrung. Die hierher einschlagenden Thatsachen, die Wärmeentwicklung bei Stoſs und Reibung, sind längst bekannt. Man gehe und beobachte die Erwärmung der groſsen Mühlsteine, der Axe aller beweglichen Räder; man erinnere sich der Rumford'schen Versuche[1]). Überall die gleiche Erscheinung; endlose Wärmeentwicklung unter Aufwand von mechanischem Effekt. Die Erzeugung der Reibungs-Elektricität erfolgt ebenfalls unter dem Aufwande von mechanischem Effekt.

[1]) **Rumford (1753—1814) brachte 1798 Wasser dadurch zum Sieden, daſs er in demselben ein Geschützrohr rotieren lieſs, gegen welches ein stumpfer Bohrer gepreſst wurde.**



Den räumlichen Abstand der Masse, z. B. der Erde und eines Gewichtes, haben wir oben als eine Kraft kennen gelernt. Ein Kilogrammgewicht in unendlicher Entfernung — oder wie wir kürzer sagen wollen, in mechanischer Trennung — von der Erde stellt eine Kraft dar; durch den Aufwand dieser Kraft, d. h. durch die mechanische Verbindung beider Massen, wird eine andere Kraft erzeugt, nämlich die Bewegung eines Kilogramms mit der Geschwindigkeit von 10000 Metern[1]). Durch den Aufwand dieser Bewegung lassen sich 17356 Kilogramm Wasser um 1° erwärmen. Die Erfahrung lehrt nun, dafs derselbe Effekt wie bei der mechanischen Verbindung, eine Wärmeentwicklung nämlich, durch die chemische Verbindung gewisser Materien erzielt wird. Das Chemisch-getrennt-sein oder kürzer die chemische Differenz der Materie ist eine Kraft.

Die chemische Verbindung von 1 kg Kohlenstoff mit 2,6 kg Sauerstoff ist äquivalent der mechanischen Verbindung von 1/2 kg mit der Erde; durch beide werden 8500 Wärmeeinheiten erhalten[2]).

Die Sonne ist eine nach menschlichen Begriffen unerschöpfliche Quelle physischer Kraft. Der Strom dieser Kraft, der sich auch über unsere Erde ergiefst, ist die beständig sich spannende Feder, die das Getriebe irdischer Thätigkeiten im Gange erhält. Die Strahlen der Sonne sind es, welche die Bewegungen in unserer Atmosphäre bewirken, die Gewässer zu Wolken in die Höhe heben und die Strömung der Flüsse hervorbringt. Die Wärme, welche von den Rädern der Wind- und Wassermühlen durch Reibung erzeugt wird, ist der Erde von der Sonne aus in Form einer vibrierenden Bewegung zugesandt worden.

Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu erhaschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form umgewandelt, aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenz erzeugen. Diese Organismen sind die Pflanzen. Die

[1]) D. h. die Endgeschwindigkeit, welche ein frei zur Erde fallender Körper erlangt, hat eine gewisse Grenze. Diese wird dann erreicht, wenn der Körper aus unendlicher Entfernung herabfällt und beträgt etwa 10000 Meter.

[2]) Die Wärmemenge, welche 1 kg Kohlenstoff bei der Verbrennung zu Kohlendioxyd entwickelt, die sogenannte Verbrennungswärme, beträgt nur 8080 Wärmeeinheiten, d. h. es würden sich damit 8080 kg Wasser von 0° auf 1° erwärmen lassen.

Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixiert und zur Nutzanwendung geeignet niedergelegt werden, eine ökonomische Fürsorge, an welche die physische Existenz des Menschengeschlechtes unzertrennlich geknüpft ist.

Die reduzierenden Wirkungen, welche das Sonnenlicht auf anorganische und organische Substanzen ausübt, sind allenthalben bekannt. Die Reduktion erfolgt am stärksten im hellen Sonnenlichte, schwächer im Schatten und fehlt ganz im Dunkeln; sie beruht nach dem obigen auf der Umwandlung einer gegebenen Kraft in eine andere, auf der Umwandlung von mechanischem Effekt in chemische Differenz.

Die Zeit liegt nicht weit hinter uns, wo die Streitfrage verhandelt wurde, ob die Pflanze während des Lebens chemische Grundstoffe zu verwandeln oder gar zu erzeugen imstande sei. Die Wissenschaft hat mit Sicherheit ein einstimmiges „Nein" ausgesprochen. Wir wissen, dafs die Materien, um welche eine Pflanze zunimmt, und die, welche von der Pflanze ausgeschieden werden, in Summa den aufgenommenen Materien gleich sind. Der Baum, welcher viele tausend Pfund wiegt, hat jedes Gran Materie von seiner Umgebung aufgenommen. Es findet in der Pflanze nur eine Umwandlung, nicht eine Erzeugung von Materie statt.

Dieser Satz bildet die verbindende Brücke zwischen Chemie und Pflanzenphysiologie; seine Wahrheit ist mehr a priori einleuchtend, als durch Versuche in den einzelnen Fällen zu beweisen. Die gleichen Gründe wie dort bestimmen uns nun anzunehmen, dafs die Pflanzen auch eine Kraft nur zu verwandeln, nicht aber zu erschaffen vermögen.

Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf und bringen eine Kraft hervor, die chemische Differenz. Das Gesetz des logischen Grundes nötigt den Naturforscher, die Leistung mit dem Aufwande in Kausal-Zusammenhang zu bringen. Dieser Aufwand, oder die Lichtaufnahme, ist, wie wir seit Saussure wissen, das notwendige Erfordernis zu einer Leistung, zur Reduktion [1]).

Die Erschaffung einer physischen Kraft, schon an und für sich selbst kaum denkbar, erscheint umso paradoxer, wenn man die Erfahrung berücksichtigt, dafs die Pflanze einzig mit Hülfe des Sonnenlichtes ihre Leistung zu vollbringen imstande ist. Durch die Annahme einer solchen hypothetischen Aktion der „Lebenskraft" wird jede weitere Forschung abgeschnitten und die Anwendung der

---

1) Siehe 35, Seite 212.



Gesetze exakter Wissenschaften auf die Lehre von den Lebenserscheinungen unmöglich gemacht. Der Verfasser glaubt daher auf das Einverständnis seiner Leser rechnen zu dürfen, wenn er als axiomatische Wahrheit den Satz ausspricht, dafs während des Lebensprozesses nur eine Umwandlung, wie der Materie so der der Kraft, niemals aber eine Erschaffung der einen oder der anderen vor sich gehe.

Die durch die Thätigkeit der Pflanzen angesammelte physische Kraft fällt einer anderen Klasse von Geschöpfen anheim, die den Vorrat durch Raub sich zueignen und ihn zu individuellen Zwecken verwenden. Es sind dies die Tiere.

Das lebende Tier nimmt fortwährend aus dem Pflanzenreiche stammende, brennbare Stoffe in sich auf, um sie mit dem Sauerstoff der Atmosphäre wieder zu verbinden. Parallel diesem Aufwande läuft die das Tierreich charakterisierende Leistung, die Hervorbringung mechanischer Effekte, die Erzeugung von Bewegungen, die Hebung von Lasten. Diese Leistung ist Mittel und Zweck im tierischen Organismus, sie ist Bedingung eines jeden animalischen Lebensprozesses. Zwar auch die Pflanzen bringen mechanische Effekte hervor, sie bewegen und heben; offenbar ist aber, bei gleicher Zeit und gleicher Masse, die Summe der von einem Pflanzenindividuum geleisteten Effekte der tierischen Leistung gegenüber eine verschwindend kleine. Während also in der Pflanze die Erzeugung mechanischer Effekte eine quantitativ und qualitativ sehr untergeordnete Rolle spielt, ist die Verwandlung chemischer Differenz in individuell nutzbaren mechanischen Effekt der unzertrennliche Begleiter, das charakteristische Merkmal des Tierlebens.

---

## 58. Die Entdeckung des Ozon. 1840.

### C. F. Schönbein, Über das Ozon[1]).

*Christian Friedrich Schönbein wurde am 18. Oktober 1799 in Württemberg geboren. Mit 14 Jahren trat er als Lehrling in eine chemische Fabrik ein, arbeitete aber gleichzeitig mit unermüdlichem Fleifs an seiner wissenschaftlichen Ausbildung. Nachdem Schönbein in Tübingen, sowie in Paris Physik und Chemie studiert hatte.*

[1]) Denkschrift über das Ozon, abgefafst von Christian Friedrich Schönbein. Basel 1849.



*bekleidete er seit 1829 das akademische Lehramt in Basel; er starb am 29. August des Jahres 1868.*

*Schönbeins Hauptverdienst besteht in der Erfindung der Schiefsbaumwolle (1846) und in der Entdeckung des Ozons, einer Abart des Sauerstoffs, die Schönbein als Ursache des schon lange vorher bekannten, aber bis dahin unerklärt gebliebenen elektrischen Geruches erkannte. Hier sei eine der wichtigsten seiner zahlreichen Abhandlungen über das Ozon im Auszuge wiedergegeben.*

Im Laufe des vergangenen Jahrzehnts beschäftigten mich vorzugsweise elektrochemische Arbeiten, bei welchen ich nicht selten Wasser und andere elektrolytische Körper auf Volta'schem Wege zu zerlegen hatte. Da es die angestellten Versuche zuweilen mit sich brachten, dafs die ausgeschiedenen Elemente des Wassers nicht gesammelt wurden, sondern in die Luft gingen, so war es dieser Umstand zunächst, der Veranlassung zur Entdeckung der Materie gab, welcher ich ihres Geruches halber den Namen Ozon beigelegt habe.

Jener Geruch war demjenigen vollkommen gleich, welcher beim Ausströmen der Elektricität in die atmosphärische Luft auftritt. Die Beobachtung dieser sonderbaren Erscheinung, zusammengenommen mit der vollständigen Unwissenheit, in der wir uns damals noch über die Ursache des sogenannten elektrischen Geruches befanden, bestimmten mich, der Sache eine ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken und es zu versuchen, den nächsten Grund dieser rätselhaften Erscheinung aufzufinden.

Im Jahre 1840 suchte ich durch eine Reihe von mir ermittelter Thatsachen den Beweis zu liefern, dafs der elektrische oder Blitzgeruch von der gleichen Materie herrühre, welche bei der elektrolytischen Wasserzersetzung an dem positiven Pole neben dem Sauerstoff zum Vorschein kommt.

Einige Jahre später gelang es mir, unabhängig von Funken- und Volta'scher Elektricität auf rein chemischem Wege, d. h. mit Hülfe des Phosphors [1]) aus der atmosphärischen Luft Ozon in einer Menge zu erzeugen, die es mir gestattete, die physikalischen, chemischen und physiologischen Wirkungen dieses sonderbaren Körpers genauer, als es bis dahin geschehen konnte, zu ermitteln, und seit dieser Zeit hat die Erforschung des Ozons den gröfsten Teil meiner Mufsestunden in Anspruch genommen.

---

[1]) Ozon bildet sich aus gewöhnlichem Sauerstoff bei der langsamen Oxydation des Phosphors an feuchter Luft.

Ich ozonisierte mit Hülfe des Phosphors den Luftgehalt eines sechzig Liter fassenden Ballons bis zum Maximum, entfernte hierauf den Phosphor aus dem Gefäfs und leitete die mittelst Wasser gewaschene ozonisierte Luft durch eine 3′ lange und 1″ weite Röhre, welche mit von Schwefelsäure durchtränktem Bimsstein gefüllt war [1]). Daran schlofs sich eine 18″ lange, enge und schwer schmelzbare Glasröhre, die selbst wieder in eine dritte 1′ lange, ½″ weite, mit schwefelsäurehaltigem Bimsstein gefüllte und genau abgewogene Röhre einmündete. Letztere stand mit einer 1′ langen, 1″ weiten Chlorcalciumröhre in Verbindung, an welche eine kleine rechtwinkelig gebogene Röhre gefügt war. Wurde die zweite schwer schmelzbare Röhre nicht erhitzt, so roch die aus dem Apparat tretende Luft stark nach Ozon, und liefs man diese Luft durch die gebogene Röhre in jodkaliumkleisterhaltiges Wasser gehen, so färbte sich dasselbe augenblicklich tiefblau, ein Beweis, dafs die ozonisierte Luft unverändert durch alle die Röhren gegangen war [2]).

Bei näherer Betrachtung der beschriebenen Vorrichtung sieht man leicht, dafs die mit dem ozonhaltigen Ballon unmittelbar verbundene längste Röhre zum Trocknen der feuchten ozonisierten Luft, die nächstfolgende Röhre zur Erhitzung, d. h. Zerstörung des durchströmenden Ozons, die dritte Röhre zur Aufnahme des hierbei etwa zum Vorschein kommenden Wassers bestimmt war, und die Chlorcalciumröhre dazu dienen sollte, das Eintreten von Feuchtigkeit aus der äufseren Luft in die dritte Röhre zu verhindern. Die letzte Röhre hatte die aus dem Apparate tretende Luft in jodkaliumkleisterhaltiges Wasser zu führen, um an dessen Weifsbleiben oder Bläuung sehen zu können, ob dieselbe ihren Ozongehalt vollständig verloren habe oder nicht. Wurde mehrere Stunden hindurch feuchte ozonisierte Luft durch die beschriebene Vorrichtung geleitet, so verursachte dies nicht die geringste Zunahme des Gewichtes der dritten Röhre, was den Beweis lieferte, dafs die erste Röhre die durchgeströmte Luft möglichst vollkommen getrocknet, und die dritte Röhre auch von keiner anderen Seite her wägbare Mengen Wasser erhalten hatte.

---

1) Schwefelsäure sowie Chlorcalcium befreien darübergeleitetes Gas von beigemengter Feuchtigkeit.

2) Gewöhnlicher Sauerstoff verändert das Gemenge von Jodkalium und Stärkekleister nicht, während Ozon das Kalium oxydiert und so das Jod frei macht. Letzteres geht mit Stärkekleister eine tiefblaue Verbindung ein. Jodkaliumstärkekleisterpapier ist daher das gebräuchlichste Mittel zum Nachweise von Ozon.

Stellte ich den Versuch gerade so an, wie eben beschrieben worden, mit dem Unterschiede jedoch, dafs die zweite enge Röhre unseres Apparates durch vier darunter gestellte lebhaft brennende Weingeistlampen ununterbrochen erhitzt und hierdurch alles durchströmende Ozon vollständig zerstört wurde (was aus dem Weifsbleiben des jodkaliumkleisterhaltigen Wassers, in welches man die durch den Apparat gegangene Luft leitete, leicht zu ersehen war), so konnte ich noch nicht die geringste Vermehrung des Gewichtes der dritten Röhre bemerken, nachdem 300 Liter Luft durch die Vorrichtung geströmt waren. Hieraus erhellt zunächst, dafs keine nachweisbare Menge Wasser aus dem Ozon sich bildete, welches in 300 Litern bis zum Maximum ozonisierter Luft enthalten und durch Erhitzung vollständig zerstört worden war[1]).

Da in chemisch reinem und möglichst wasserfreien Sauerstoff durch elektrische Funken Ozon hervorgerufen wird, und verhältnismäfsig grofse Mengen sorgfältigst getrockneter und durch Phosphor möglichst stark ozonisierter Luft bei ihrem bis zur völligen Zerstörung des Ozons gehenden Erhitzen keine wägbare Menge Wasser liefern, so gewinnt es den Anschein, als ob die Ansicht Grund hätte, gemäfs welcher das Ozon nur ein veränderter Sauerstoff und somit ein einfacher Körper wäre[2]).

---

Gleich beim Beginn meiner Untersuchungen über das Ozon fand ich, dafs dasselbe durch eine Reihe oxydierbarer Materien, namentlich durch die meisten Metalle, schon in der Kälte zerstört wird. Später ermittelte ich, dafs die niedrigeren Oxydationsstufen mancher dieser Körper mit Hülfe des Ozons in die höheren übergeführt werden, z. B. die Oxyde des Mangans und Bleis in die Superoxyde dieser Metalle.

Diese Thatsachen machten es wahrscheinlich, dafs auch manche Metalle selbst, in Berührung mit Ozon, bei gewöhnlicher Temperatur bis zum Maximum sich oxydieren würden, und hierüber angestellte Versuche haben über die Richtigkeit dieser Vermutung keinen Zweifel gelassen.

---

1) Hiermit war eine Vermutung widerlegt, von der Schönbein zunächst sich leiten liefs, dafs nämlich Ozon ähnlich dem Wasserstoffsuperoxyd eine eigentümliche Oxydationsstufe des Wasserstoffs sei und beim Erhitzen dadurch zerstört werde, dafs es in Wasser und Sauerstoff zerfalle.

2) Diese Ansicht wurde durch alle späteren Untersuchungen bestätigt.

Auf Volta'schem Wege dargestelltes Silberpulver wird durch eine etwa 3′ lange und 4″ weite Glasröhre gleichförmig verteilt und darüber längere Zeit möglichst stark ozonisierte Luft geleitet, nachdem diese vorerst durch Wasser und dann über Chlorcalcium oder schwefelsäurehaltigen Bimsstein gegangen und somit von beigemengter Säure und Feuchtigkeit befreit ist.

Die ozonisierte Luft strömt nicht lange über das Silberpulver, ohne ihre oxydierende Wirkung durch die eintretende Färbung des Metalls zu äufsern, welches erst bräunlich und nach und nach sammetschwarz wird.

Wegen der verhältnismäfsig kleinen Menge des in dieser Luft vorhandenen Ozons, wie auch infolge des Umstandes, dafs ein Teil dieses Ozons unverwendet über das Silber wegströmt, wird es leicht begreiflich, dafs die vollständige Oxydation selbst sehr kleiner Mengen des Metalls eine ziemlich lange Zeit erfordert. Um z. B. nur zwei Gramm Silber vollständig zu oxydieren, war ein ununterbrochenes vierzehntägiges Strömen stark ozonisierter Luft über das Metall erforderlich. Kaum wird es der Bemerkung bedürfen, dafs die das Silberpulver enthaltende Röhre von Zeit zu Zeit gedreht werden mufs, um alle Metallteilchen in Berührung mit dem strömenden Ozon zu bringen; ich darf aber nicht vergessen, hier ausdrücklich zu bemerken, dafs feuchte ozonisierte Luft merklich rascher als die trockene oxydierend auf das Silber einwirkt. Um sicher zu sein, dafs bei dem beschriebenen Versuche alles angewandte Silber oxydiert sei, bringt man eine kleine Menge besagter sammetschwarzer Materie erst mit verdünnter Salzsäure zusammen und fügt dann wässeriges Ammoniak im Überschusse hinzu. Wird hierbei eine klare Flüssigkeit erhalten, d. h. verschwindet das schwarze Pulver, ohne einen Rückstand zu lassen, so findet sich in demselben aus leicht einsehbaren Gründen auch kein metallisches Silber mehr vor[1].

Bei einer Temperatur, die noch weit unter der Glühhitze liegt, wird unsere schwarze Materie weifs, d. h. in metallisches Silber übergeführt, unter Entbindung eines farb- und geruchlosen Gases, das sich in jeder Beziehung wie reines Sauerstoffgas verhält.

Da unsere Materie mir bei der Erhitzung als Mittel aus den Ergebnissen dreier Versuche 87% metallisches Silber lieferte, so darf man sie wohl als AgO betrachten und annehmen, dafs bei

[1]) Letzteres ist nämlich in den angewandten Mitteln nicht löslich.

der Einwirkung des Ozons auf Silber das reine Superoxyd dieses Metalles gebildet werde[1]).

---

# 59. Der rote Phosphor wird als eine Modifikation des Elements Phosphor erkannt. 1850.

## A. Schrötter, Über einen neuen allotropischen Zustand des Phosphors[2]).

*Anton Schrötter wurde am 26. November 1802 geboren, studierte in Wien und bekleidete seit 1830 eine Professur in Graz. Im Jahre 1843 wurde Schrötter Professor der Chemie in Wien und starb am 15. April 1875.*

*Der rote Phosphor war schon lange bekannt, aber nicht richtig gedeutet. Schrötter gelang es, wie wir in nachfolgendem sehen werden, den roten als eine Abart des gewöhnlichen Phosphors nachzuweisen. Durch das eingehende Studium der roten Modifikation wurde er auch auf die sanitäre Bedeutung derselben geführt und hat sich dadurch ein bleibendes Verdienst um die Technik der Zündstoffe erworben.*

Es ist eine seit langer Zeit bekannte Thatsache, dafs der Phosphor, der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt, eine rote Farbe annimmt. Über die Ursache dieser interessanten Erscheinung herrschen die verschiedensten Ansichten, und man ist darüber ebenso wenig im reinen, wie über die näheren Umstände, unter welchen die obige Veränderung vor sich geht. Berzelius[3]) schreibt das Rotwerden des Phosphors dem Übergange desselben in eine andere Modifikation zu. Andere Gelehrte bezeichnen den rotgefärbten Phosphor als einen mit Phosphoroxyd gemengten und Gmelin[4]), der ebenfalls dieser Ansicht ist, hält es für wahrscheinlich, dafs der im Vakuum und in sauerstofffreien Gasen durch die Einwirkung des Lichtes rot werdende Phosphor nicht ganz trocken sei, der Sauerstoff also von dem Wasser herrühren könne.

---

1) Das Oxyd des Silbers ist entsprechend der Formel $Ag_2O$ zusammengesetzt. Das Superoxyd $Ag_2O_2$ oder $AgO$ enthält 87,1 % Silber.

2) Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie. Jahrgang 1850. 81. Bd. S. 276 ff.

3) Siehe 39, S. 232.

4) Leopold Gmelin (1788—1853), Professor der Chemie in Heidelberg.

Dieses war der Zustand unserer Kenntnisse in Bezug auf die Frage, welches die wahre Ursache des Rotwerdens des Phosphors sei, als ich im Jahre 1845 veranlafst wurde, dieses rätselhafte Verhalten näher zu studieren.

Es schien mir vor allem notwendig auszumitteln, ob denn wirklich die Gegenwart von Sauerstoff, sei es des freien oder des z. B. an Wasserstoff gebundenen, zum Rotwerden des Phosphors erforderlich sei. Zu diesem Behufe brachte ich vollkommen reinen, farblosen, so gut wie möglich getrockneten Phosphor in eine Kugelröhre und setzte diese mit einem Apparate in Verbindung, aus welchem sich Kohlendioxyd entwickelte. Vor dem Anlegen der Röhre, welche den Phosphor enthielt, liefs ich das Kohlendioxyd so lange durch ein zum Reinigen und Trocknen desselben bestimmtes Röhrensystem strömen, bis das Gas vollkommen von aller atmosphärischen Luft befreit war. Ich leitete nun das Gas so lange bei gewöhnlicher Temperatur über den Phosphor, bis es von Ätzkali vollständig absorbiert wurde[1]), und erhitzte denselben dann nach und nach, bis weit über 100°, um so alle Feuchtigkeit zu entfernen. Nachdem dieser Zweck vollkommen erreicht war, wurde die Röhre, ohne sie von dem Apparate zu nehmen, an beiden Enden zugeschmolzen. Nachdem der Phosphor auf diese Weise weder mit freiem Sauerstoff noch mit Wasser in Berührung war, überliefs ich ihn der Einwirkung des Lichtes. Schon nach kurzer Zeit fing derselbe an, rot zu werden, und zwar umso rascher, je intensiveres Licht darauf einwirkte. Aber auch im zerstreuten Lichte, bei einer Temperatur von 14° C. war der Phosphor nach wenigen Tagen intensiv rot gefärbt. Es war hierbei ganz deutlich zu bemerken, dafs der Phosphor nicht, wie man häufig meint, durch seine ganze Masse rot wird, sondern dafs sich ein roter fester Körper in feinen Teilchen aus demselben abscheidet. Derselbe Versuch wurde immer mit gleichem Erfolge auch in Wasserstoff, der aufs sorgfältigste gereinigt war, sowie in Stickstoff angestellt.

Aus den angegebenen Thatsachen mufs, glaube ich, der Schlufs gezogen werden, dafs die Veränderung, welche der Phosphor durch die Einwirkung des Lichtes erleidet, von der Gegenwart des Sauerstoffs gänzlich unabhängig ist, dafs dieselbe also auf keine Weise durch eine Oxydation bedingt sein kann. Ich werde weiter unten zeigen, dafs der sich hierbei absondernde rote Körper wirklich nichts als

[1]) Dies ist das Zeichen, dafs die Luft völlig verdrängt ist.

reiner Phosphor ist, der sich jedoch in einem anderen allotropischen Zustande, und zwar in dem amorphen befindet.

Es war nun zunächst zu untersuchen, ob die gedachte Veränderung des Phosphors nicht noch auf eine andere Art als durch die Einwirkung des Lichtes hervorgebracht werden könne. Sowohl durch Erscheinungen, die ich bei den obigen Versuchen zu beobachten Gelegenheit hatte, als durch die Überlegung, dafs sich die Wärme in so vielen Fällen wie das Licht verhält, wurde ich veranlafst, zu versuchen, ob sie sich nicht auch hier mit gleichem Erfolge dem Lichte substituieren lasse. Zu diesem Zwecke liefs ich an dem Halse einer tubulierten Retorte von hartem Glase eine Kugel aufblasen, und brachte dann sowohl in die Retorte selbst als in die Kugel getrockneten Phosphor. Mit dem Halse der Retorte wurde eine Röhre luftdicht verbunden, deren vertikaler, ungefähr 28 Zoll langer Schenkel in Quecksilber tauchte. Der Teil des Halses zwischen der Kugel und dem Korke enthielt Chlorcalcium, und in den Tubulus der Retorte war ein Thermometer, dessen Kugel ganz in den Phosphor tauchte, luftdicht eingekittet. Nachdem der Apparat auf diese Weise vorgerichtet war, erwärmte ich zuerst den in der kleinen Kugel befindlichen Phosphor soweit, dafs er sich entzündete und auf diese Weise allen in dem Apparat enthaltenen Sauerstoff verzehrte. Um die allenfalls noch vorhandene geringe Menge Wasser zum Chlorcalcium zu treiben, erhitzte ich nun den in der Retorte befindlichen Phosphor auf 100° und liefs dann den Apparat erkalten. Das Quecksilber stieg in der Röhre in die Höhe und behielt seinen Standpunkt unverändert bei. Nun erst, wo man annehmen konnte, dafs der Phosphor der Retorte sich in einer Atmosphäre von Stickstoff befinde, wurde derselbe stärker erhitzt. Anfangs zeigte sich keine Veränderung. Als jedoch die Temperatur auf 226° C. gestiegen war und längere Zeit in dieser Höhe erhalten wurde, nahm der Phosphor bald die schöne, fast karmoisinrote Farbe an, welche er durch die Einwirkung des Lichtes erhält, wurde nach und nach dickflüssig, immer dunkler und zuletzt völlig undurchsichtig. Diese Veränderung des Phosphors fand jedoch nicht plötzlich, sondern successive statt, und ich konnte auch hier sehr deutlich bemerken, dafs sich zuerst am Boden feine rote Teilchen abscheiden, deren Menge schnell zunimmt, und die sich dann durch die ganze Masse gleichförmig verteilen. Wird der Phosphor längere Zeit, etwa 48—60 Stunden, ununterbrochen bei einer Temperatur, die zwischen 240 und 250° C. liegt, erhalten, so setzt sich am Boden des Gefäfses

eine mehr oder minder dicke Schicht von amorphem Phosphor ab, während die obere Schicht noch ziemlich viel gewöhnlichen Phosphor enthält. Bringt man in den Kolben, nachdem er erkaltet ist, Wasser von 50—60° C., so schmilzt nur die obere Schicht weg, und man kann aus derselben auf die gewöhnliche Weise Stangen formen. Als ich den eben beschriebenen Versuch so anstellte, dafs die Retorte zugleich vom Lichte getroffen wurde, zeigte es sich sehr deutlich, dafs die Wirkung des Lichtes und die der Wärme sich gegenseitig unterstützen, so dafs man sagen kann: erwärmter Phosphor wird durch das Licht viel schneller gerötet als kalter.

In folgendem wird sich herausstellen, dafs der rote Körper, welcher sich dem der Einwirkung des Lichtes oder der Wärme ausgesetzten Phosphor beigemengt hat, nichts als amorpher Phosphor ist, der sich gegen den gewöhnlichen, das ist krystallisierten, wie die die amorphe Kohle zum Diamant oder Graphit verhält.

Um diesen Beweis zu führen, war es notwendig, entweder den roten Körper zu isolieren und durch quantitative Bestimmungen zu zeigen, dafs derselbe geeignete wägbare Verbindungen in derselben Menge liefert wie gewöhnlicher Phosphor. Oder man mufste die Bildung dieses Körpers unter Umständen bewerkstelligen, die jede Einmischung eines anderen Körpers absolut unmöglich erscheinen lassen, und womöglich unter Beobachtung derselben Vorsichtsmafsregeln auch rückwärts aus dem roten Körper, ohne alle Gewichtsveränderung gewöhnlichen Phosphor darstellen. Ich zog es vor, den letzteren Weg einzuschlagen.

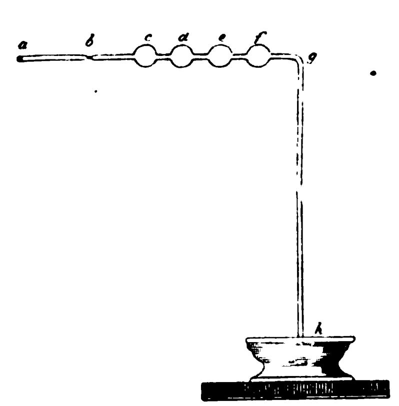


Fig. 42. (Poggendorffs Annalen, Bd. 81, Taf. I, Fig. 4).

Es wurde eine Röhre aus hartem Glase so vorgerichtet, wie Fig. 42 zeigt. In die Kugel c brachte ich wohl getrockneten Phosphor und setzte dann bei a die Röhre mit einem Apparat in Verbindung, in welchem Kohlensäure entwickelt und aufs sorgfältigste getrocknet und gereinigt wurde. Bei b war die Röhre etwas eingezogen, und ihr vertikaler, über 28 Zoll langer Schenkel mit Quecksilber abgesperrt. Ich leitete nun so lange Kohlensäure

durch den Apparat, bis das bei h austretende Gas vollständig von Ätzkali absorbiert wurde, also reine Kohlensäure war. Darauf erwärmte ich den Phosphor auf etwas über 100°, um alle Feuchtigkeit durch den fortdauernden Gasstrom zu entfernen, eine Vorsicht, die notwendig ist, weil hierbei meistens noch Spuren von Wasser bemerkt werden. Als die Röhre auf diese Weise vollständig getrocknet war, wurde sie bei b zugeschmolzen und von dem übrigen Apparat getrennt. Nach dieser sorgfältigen Vorbereitung erhitzte ich den Phosphor bis zu der Temperatur, wo er rot zu werden anfängt und erhielt ihn eine Zeit lang bei derselben. Hierbei fand nicht die geringste Gasentwicklung oder Absorption statt, und dieses war ebenso wenig der Fall, als die Temperatur so weit gesteigert wurde, dafs der Phosphor zu sieden und in die zweite Kugel überzudestillieren anfing. Er sammelte sich in derselben als eine fast wasserhelle, nur etwas gelbliche, das Licht stark zerstreuende Flüssigkeit, während der rote Anteil in der ersten Kugel zurückblieb. Ich behandelte nun den Phosphor in der zweiten Kugel d auf gleiche Art, indem ich denselben zuerst rot werden liefs und dann den ungeändert gebliebenen Teil in die Kugel e überdestillierte. Die gleiche Behandlung erfuhr derselbe auch noch in der Kugel e, sodafs zuletzt die Kugeln c, d und e nur roten Phosphor enthielten, während der ungeändert gebliebene sich in der letzten Kugel befand. Nun ging ich wieder zur ersten Kugel c zurück und erhitzte dieselbe abermals. Als die Temperatur hinreichend gesteigert war, fing plötzlich auch der rote Phosphor an zu verschwinden und setzte sich, ohne eine Spur zurückzulassen, in dem kälteren Teile der Röhre in ebenso reinen Tropfen wie der gewöhnliche Phosphor an. Auf gleiche Weise verfuhr ich auch mit den anderen Kugeln, sodafs zuletzt aller Phosphor wieder in seinem gewöhnlichen Zustande in der letzten Kugel enthalten war. Hierbei hatte sich der Stand des Quecksilbers nicht weiter verändert, als dies durch die abwechselnde Erhöhung und Erniedrigung der Temperatur bedingt wurde. Es war also auf diese Weise der Phosphor in einer vollkommen indifferenten Atmosphäre aus der gewöhnlichen in die rote und aus dieser wieder in die gewöhnliche Modifikation wiederholt übergeführt worden.

Auf dieselbe Art und mit ganz gleichem Erfolge wurde die Umwandlung des Phosphors auch in Wasserstoff und Stickstoff bewerkstelligt, welche beide mit der äufsersten Sorgfalt gereinigt und getrocknet waren.

Aus den angeführten Thatsachen geht nun mit aller Sicherheit hervor, dafs die Umänderung des Phosphors, welche er sowohl durch das Licht als durch die Wärme erleidet, nicht dadurch bedingt sein kann, dafs sich derselbe mit Sauerstoff oder irgend einem anderen Körper verbindet, sondern dafs sie unter jene merkwürdigen Molekularveränderungen gehört, welche auch die verschiedenen isomeren Zustände der zusammengesetzten Körper bedingen, und die wir, wenn sie an Grundstoffen vorkommen, nach Berzelius allotropische nennen. Es ist merkwürdig, dafs der Kohlenstoff ein ganz ähnliches Verhalten zeigt. Wird nämlich der Diamant eine Zeit lang stark erhitzt, so wird er ganz schwarz und undurchsichtig, was nur von einem Übergang in den amorphen Zustand herrühren kann.

Um den amorphen Phosphor zu isolieren, versuchte ich zuerst den ungeändert gebliebenen Anteil durch Destillation von dem geänderten zu trennen. Dies läfst sich zwar bewerkstelligen, allein der amorphe Phosphor bleibt dann in Krusten an dem Glase hängen, die schwer davon zu trennen sind. Weit zweckmäfsiger ist es daher, Schwefelkohlenstoff anzuwenden, welcher merkwürdigerweise den amorphen Phosphor garnicht löst, während er doch ein so vortreffliches Lösungsmittel für den gewöhnlichen ist.

Dieses Verhalten des Schwefelkohlenstoffs hatte ich nämlich schon früher an dem durch das Licht geröteten Phosphor beobachtet, und da ich darin ein so leichtes Mittel sah, den roten Körper von dem übrigen Phosphor zu trennen, so wurde dieses Verhalten gewissermafsen der Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit.

Im Finstern leuchtet der amorphe Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur gar nicht, erhitzt man denselben aber bis nahe zu der Temperatur, wo er sich entzündet, so beginnt er schwach zu leuchten. Läfst man ihn jedoch, wenn er zu leuchten begonnen hat, erkalten, so hört er jedesmal wieder auf zu leuchten.

Chlorgas wirkt auf den amorphen Phosphor schon bei gewöhnlicher Temperatur und giebt damit zwar unter Erhitzung, aber, was sehr merkwürdig ist, ohne alle Lichterscheinung zuerst Phosphorchlorür, dann Phosphorchlorid.

Chlorsaures Kali verpufft, in einer Reibschale mit rotem Phosphor zusammengerieben, mit grofser Heftigkeit und beträchtlicher Lichterscheinung. Werden beide Körper zusammen erwärmt, so erfolgt die Verpuffung weit weniger heftig.

Auch mit Bleisuperoxyd zusammengerieben findet Feuererscheinung mit schwacher Verpuffung statt; beim Erwärmen des Gemenges hingegen ist die Explosion sehr heftig.

Das hier angeführte Verhalten des amorphen Phosphors reicht hin, denselben vollkommen zu charakterisieren. Es geht daraus hervor, dafs derselbe

1. Im ganzen weit indifferenter als der gewöhnliche Phosphor auftritt.
2. Dafs er unlöslich in Schwefelkohlenstoff ist.
3. Dafs ihm die Fähigkeit, sich mit anderen Körpern unter Lichtentwicklung zu verbinden, in einem weit geringeren Grade zukommt als dem gewöhnlichen Phosphor.
4. Endlich, dafs er sehr vielen Sauerstoffverbindungen sowohl beim Erwärmen als auch schon beim Zusammenreiben oder durch einen Stofs unter Feuererscheinung den Sauerstoff entzieht.

Von praktischem Interesse dürfte das eben angegebene Verhalten des amorphen Phosphors gegen einige Oxyde sein, indem er dadurch mit gröfstem Vorteile zum Verfertigen sowohl von Streichzündhölzchen als von Zündern für Gewehre und Geschütze etc. gebraucht werden kann. Hierbei wären alle bisherigen Mängel der Zündpräparate dieser Art, wie Anziehen von Feuchtigkeit, schädlicher Einflufs auf die Gesundheit der Arbeiter, Gefahr beim Transporte etc. wegen der Indifferenz des amorphen Phosphors vollständig beseitigt.

# 60. Pasteur weist nach, dafs auch die niedrigsten Organismen aus Keimen und nicht durch Urzeugung entstehen. 1860.

## Pasteur, Die in der Atmosphäre enthaltenen organischen Körperchen[1]).

*Louis Pasteur (1822—1895), einer der hervorragendsten französischen Chemiker und Physiologen, hat sich besonders durch die Erforschung des Gärungsprozesses, sowie durch Arbeiten über die Schutzimpfung einen Namen gemacht. Hier folgt ein Auszug von*

1) Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. Bd. LXIV. 1862. Übersetzt von Dr. A. Wieler und als 39. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften bei Wilhelm Engelmann in Leipzig 1892 erschienen.



*Kapitel I und II der wichtigen Pasteurschen Abhandlung, in welcher die Lehre von der Urzeugung ihre endgültige Widerlegung gefunden hat.*

## A. Historisches.

Im Altertum und bis zum Ende des Mittelalters glaubte jedermann an das Vorkommen von Urzeugung. Aristoteles sagt, dafs jeder trockne Körper, welcher feucht wird, und jeder feuchte Körper, welcher trocken wird, Tiere erzeugt.

Van Helmont[1]) beschreibt ein Mittel, um Mäuse hervorzubringen. Viele Schriftsteller gaben noch im 17. Jahrhundert Anweisungen über die Art und Weise, um Frösche aus dem Schlamme der Sümpfe oder Aale aus dem Wasser unserer Flüsse zu erzeugen. Solche Irrtümer konnte der kritische Geist, der sich Europas im 16. und 17. Jahrhundert bemächtigte, nicht lange ertragen.

Redi[2]), ein berühmtes Mitglied der Accademia del Cimento, stellte fest, dafs die Würmer des in Fäulnis begriffenen Fleisches Larven aus Fliegeneiern sind. Seine Beweise waren ebenso einfach wie entscheidend, denn er zeigte, dafs es genügte, das in Fäulnis begriffene Fleisch mit einer feinen Gaze zu umgeben, um die Bildung dieser Larven vollständig zu verhindern.

Man überraschte, sagte später Réaumur, Fliegen bei ihrer Thätigkeit, wie sie ihre Eier in Früchten niederlegten, und man wufste, wenn man einen Wurm in einem Apfel sah, dafs nicht die Fäulnis ihn erzeugt hatte, sondern dafs der Wurm im Gegenteil die Ursache der Fäulnis sei.

Aber bald, in der zweiten Hälfte des 17. und in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts, häuften sich die mikroskopischen Beobachtungen. Die Lehre von der Urzeugung tauchte abermals auf. Da man sich den Ursprung der so mannigfaltigen Wesen, welche das Mikroskop in den Aufgüssen pflanzlicher und tierischer Stoffe erkennen liefs, nicht erklären konnte, und da man an ihnen nichts sah, was einer geschlechtlichen Zeugung glich, wurden die

---

1) Van Helmont, 1577 zu Brüssel geboren, machte sich um die Chemie durch die genauere Untersuchung und Unterscheidung der gasförmigen Körper verdient. Von ihm rührt auch die Bezeichnung „Gas“ her. Van Helmont huldigte, wie die Mehrzahl seiner Zeitgenossen, phantastischen Vorstellungen; so giebt er an, dafs in einem Gefäfse, welches Mehl und ein schmutziges Hemd enthalte, Mäuse entstünden. Van Helmont starb 1644.

2) Redi, 1626–1697, hervorragender italienischer Naturforscher und Mitglied der Accademia del Cimento (Akademie des Versuchs) in Florenz.

einen zu der Annahme geführt, dafs die belebte Materie nach ihrem Tode eine besondere Lebensfähigkeit bewahre, unter deren Einflufs die Teile sich von neuem unter bestimmten günstigen Bedingungen mit einer Mannigfaltigkeit im Bau und in der Organisation, welche von diesen Bedingungen selbst abhängen, vereinigten.

Andere hingegen glaubten, indem sie die wunderbaren Ergebnisse, welche das Mikroskop sie entdecken liefs, durch die Einbildungskraft vergröfserten, bei den Infusorien, Paarung, Männchen, Weibchen und Eier wahrzunehmen und traten als erklärte Gegner der Urzeugung auf.

So stand die Frage, als im Jahre 1745 in London ein Werk Needhams, eines geschickten Beobachters, erschien [1]). In diesem Werke wurde die Lehre von der Urzeugung mit ganz neuen Thatsachen gestützt.

Aber es dauerte nicht lange, so wurden die Needham'schen Schlufsfolgerungen einer experimentellen Prüfung unterzogen. Damals lebte in Italien einer der geschicktesten Physiologen, der sehr scharfsinnige und sehr schwer zu befriedigende Spallanzani.

Needham hatte seine Lehre von der Urzeugung mit Experimenten gestützt; das Experiment allein konnte seine Ansichten verurteilen oder gutheifsen. Das begriff Spallanzani sehr wohl. „In mehreren Städten Italiens", sagte er, „sah man Parteien sich gegen die Meinung Needhams bilden; aber ich glaube nicht, dafs jemand daran gedacht hat, dieselbe auf dem Wege des Experiments zu prüfen."

Um die Bildung von Infusorien zu unterdrücken, mufste Spallanzani die Aufgüsse drei Viertelstunden auf der Temperatur des kochenden Wassers erhalten. Appert [2]) wandte die Ergebnisse der Spallanzani'schen Versuche auf den Haushalt an. So besteht zum Beispiel eins der Experimente des gelehrten Italieners darin, kleine Erbsen mit Wasser zusammen in ein Glasgefäfs zu bringen, welches man nach hermetischem Verschlufs drei Viertelstunden lang in kochendes Wasser hält. Dies ist Apperts Verfahren. Nun hat aber Gay-Lussac [3]) dieses Verfahren verschiedenen Prüfungen unterworfen.

„Man kann sich davon überzeugen", sagt derselbe, „wenn man die Luft der Flaschen, in welchen die Stoffe (Rindfleisch,

---

[1]) Needham, new microscopical discoveries, London 1745.

[2]) Französischer Koch, erfand 1804 das Verfahren, Gemüse in Büchsen zu konservieren.

[3]) Über Gay-Lussac siehe 41, S. 240.

Hammelfleisch, Fisch, Champignons, Weinmost) wohl erhalten waren, analysiert, dafs sie keinen Sauerstoff mehr enthält, und dafs die Abwesenheit dieses Gases eine notwendige Bedingung für die Erhaltung animalischer und pflanzlicher Substanzen ist."

Die Befürchtungen Needhams über eine Änderung der Luft bei den Versuchen Spallanzanis fanden sich durch die Thatsache der Abwesenheit des Sauerstoffs in den Appert'schen Konserven gerechtfertigt.

Ein Versuch von Schwann[1]) brachte jedoch in die Frage einen sehr bemerkenswerten Fortschritt. Im Februar 1837 veröffentlichte Schwann die folgenden Thatsachen: Ein Aufgufs von Muskelfleisch wird in einen Glasballon gethan; darauf schliesst man denselben vor der Lampe, setzt ihn vollständig der Temperatur des kochenden Wassers aus und überläfst ihn nach dem Erkalten sich selbst. Die Flüssigkeit fault nicht. Bis dahin haben wir nichts neues. Das ist einer der Versuche Spallanzanis oder eine Appert'sche Konserve. „Aber es war wünschenswert", fügt Schwann hinzu, „den Versuch so zu modifizieren, dafs eine Erneuerung der Luft möglich wurde, jedesmal mit der Bedingung, dafs die neue Luft vorher erwärmt wurde, wie es mit der ursprünglichen Luft im Ballon geschehen war." Darauf wiederholt Schwann das vorstehende Experiment, indem er im Hals des Ballons einen doppelt durchbohrten Stopfen anbringt, durch den knieförmig gebogene und gekrümmte Röhren gehen. Diese Krümmungen tauchen in Bäder einer geschmolzenen Legierung, welche auf einer dem Siedepunkt des Quecksilbers naheliegenden Temperatur gehalten werden. Mit Hülfe eines Aspirators erneuert man die Luft, welche kalt in den Ballon gelangt, nachdem sie in dem Teil der Röhren erwärmt wurde, welcher von der geschmolzenen Legierung umgeben ist. Das Ergebnis ist dasselbe wie in den Versuchen Spallanzanis und Apperts. Es findet keine Änderung der organischen Flüssigkeit statt.

Die erwärmte und darauf wieder erkaltete Luft läfst also die aufgekochte Fleischbrühe unversehrt. Dies widerlegte die Behauptung Gay-Lussacs über die Rolle, welche der Sauerstoff im Verfahren der Appert'schen Konserven und bei der alkoholischen Gärung spiele.

Folgendes war der Schlufs, welchen Schwann aus den eben mitgeteilten Versuchen zog: „Bei der alkoholischen Gärung, wie

[1]) Über Schwann siehe **50**, S. 287.

„bei der Fäulnis, ist es nicht der Sauerstoff, wenigstens nicht der „Sauerstoff der atmosphärischen Luft allein, welcher sie verursacht, „sondern ein in der gewöhnlichen Luft enthaltenes und durch die „Wärme zerstörbares Prinzip.“

Die Versuche Schwanns sind von mehreren Beobachtern wiederholt und abgeändert worden. Man liefs die Luft, anstatt sie zu glühen, durch chemische Reagentien streichen; andere dachten sich aus, die Luft durch Baumwolle zu filtrieren, anstatt sie durch höhere Temperatur nach der Art Schwanns oder durch energisch wirkende chemische Reagentien zu verändern.

## B. Mikroskopische Prüfung der in der atmosphärischen Luft zerstreuten festen Teilchen.

Meine erste Sorge war, eine Methode ausfindig zu machen, die gestattet, zu jeder Jahreszeit die festen Teilchen, welche in der Luft schweben, zu sammeln und unter dem Mikroskop zu studieren. Man mufste sich zuerst daran halten, wenn möglich die Einwände zu beseitigen, welche die Anhänger der Urzeugung der alten Hypothese von der Aussaat der Keime durch die Luft entgegensetzten.

Wenn die organischen Stoffe der Aufgüsse erhitzt worden sind, so bevölkern sie sich mit Infusorien und mit Schimmel. Diese organisierten Bildungen sind im allgemeinen weder so zahlreich, noch so mannigfaltig, als wenn man die Flüssigkeiten vorher nicht zum Kochen gebracht hat, aber sie entstehen immer. Unter diesen Umständen nun können ihre Keime nur aus der Luft kommen, weil das Kochen diejenigen zerstört, welche die Gefäfse oder die Stoffe des Aufgusses in die Flüssigkeit gebracht haben. Die ersten zu beantwortenden experimentellen Fragen sind also folgende: Giebt es Keime in der Luft? Ist eine genügend grofse Anzahl in derselben vorhanden, um das Auftreten organisierter Bildungen in den Aufgüssen, welche vorher erhitzt worden waren, zu erklären? Kann man sich eine annähernde Vorstellung machen von einer zu erweisenden Beziehung zwischen einem bestimmten Volumen gewöhnlicher Luft und der Anzahl Keime, welche dies Luftvolumen einschliefsen kann?

Beginnen wir damit, giebt es Keime in der Luft? Niemand leugnet es. Einer der erklärtesten Anhänger der Urzeugung[1])

[1]) Pouchet, Traité de la génération spontanée. Paris 1859. pag. 432.

äufsert sich darüber folgendermafsen: „Man begegnet im Staube zuweilen einigen Eiern von Mikrozoën, wie man dort eine Menge leichter Körperchen antrifft, aber das ist wirklich eine Ausnahme.“ Weiterhin drückt sich Pouchet wie folgt aus: „Unter den zum Pflanzenreiche gehörigen Teilchen des Staubes kommen Kryptogamensporen, freilich in sehr geringer Zahl, vor.

Es giebt danach im Staube der Luft Infusorieneier und Schimmelsporen; die Anhänger der Lehre von der Urzeugung bestätigen das, aber sie setzen hinzu, dafs sie nur ausnahmsweise, und zwar in aufserordentlich beschränkter Zahl vorkommen.

Hier mag jedoch eine Bemerkung Platz finden. Der Staub welchen man auf der Oberfläche aller Körper findet, ist beständig Luftströmungen ausgesetzt, welche seine leichtesten Teile fortführen; unter ihnen befinden sich ohne Zweifel vorzugsweise organisierte Körperchen, Eier oder Sporen, die im allgemeinen weniger schwer als die mineralischen Teilchen sind. Aufserdem ist es nicht möglich, soweit der gewöhnliche in Ruhe befindliche Staub in Betracht kommt, eine Andeutung über das annähernde Verhältnis zu erhalten, welches zwischen einem gegebenen Volumen dieses Staubes und dem Luftvolumen, das jenes geliefert hat, vorhanden ist. Man mufs also nicht den in Ruhe befindlichen Staub, sondern den in der Luft schwebenden beobachten. Sehen wir zu, ob das ausführbar ist und ob es wahr ist, dafs dieser schwebende Staub nur ausnahmsweise Keime niederer Organismen einschliefst, wie das nach Pouchet für den in Ruhe befindlichen Staub zutrifft.

Das Verfahren, welches ich eingeschlagen habe, um den in der Luft suspendierten Staub zu sammeln und unter dem Mikroskop zu prüfen, ist sehr einfach. Es besteht darin, ein bestimmtes Luftvolumen durch in einem Gemisch aus Alkohol und Äther lösliche Schiefsbaumwolle zu filtrieren. Die Baumwollfasern halten die festen Teilchen zurück; dann behandelt man die Baumwolle mit ihrem Lösungsmittel. Nach einer genügend langen Zeit fallen alle festen Teilchen auf den Boden der Flüssigkeit; man unterwirft sie einigen Waschungen und bringt sie dann auf den Objekttisch des Mikroskops, wo man sie leicht studieren kann. Ich will jetzt auf die Einzelheiten des Experiments eingehen.

FF in Fig. 43 ist ein Fensterrahmen, in welchem ich in einer Höhe von mehreren Metern über dem Boden eine Öffnung angebracht habe, die der Glasröhre T den Durchgang gestattet. Diese Röhre hatte in meinen Versuchen einen Durchmesser von einem halben Centimeter. Bei a befindet sich ein Pfropf löslicher

Baumwolle von ungefähr einem Centimeter Länge, welcher mittelst einer kleinen Spirale aus Platindraht festgehalten wird. Die Luft wurde von dem Aspirator R herbeigezogen. Das ist eine T förmige Messingröhre, in welche beständig Wasser fliefst, das die Luft aus der Röhre m n saugt; letztere ist an ihrem Ende bei n etwas umgebogen, wie es die Figur zeigt. Die Röhre m n steht überdies

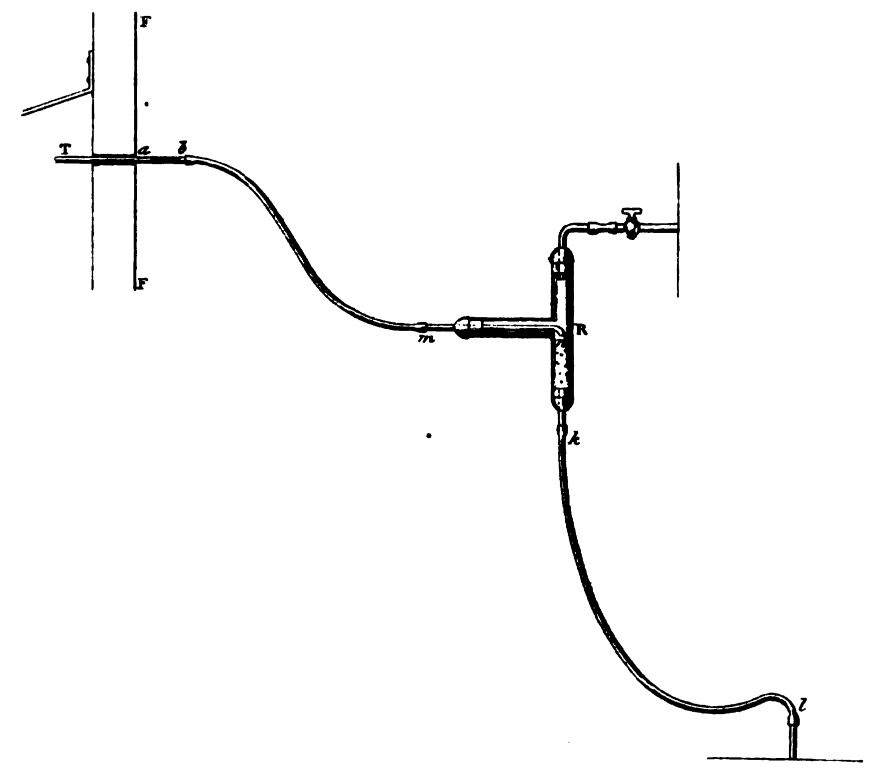



Fig. 43. (Ostwalds Klassiker Nr. 39. Taf. I, Fig. 1.)

durch einen Kautschukschlauch mit der den löslichen Baumwollpfropfen enthaltenden Röhre T in Verbindung. Will man das Luftvolumen, welches das ablaufende Wasser hindurchgesogen hat, bestimmen, so genügt es, das Ende l der Röhre k l in eine grofse umgestürzte, mit Wasser gefüllte und vorher geaichte Flasche zu stecken und die Zeit zu messen, in welcher sich eine Flasche z. B. von 10 Litern Inhalt füllt. Diese Art der ununterbrochenen Aspiration ist sehr bequem und hat mir grofse Dienste geleistet.

Ist die Luft hinreichend lange hindurchgestrichen, so wird der Baumwollpfropfen, der durch den zurückgehaltenen Staub mehr oder weniger schmutzig geworden ist, in ein kleines Glasröhrchen mit dem Äther-Alkoholgemisch, das die Baumwolle auflöst, gelegt. Man läfst während eines Tages absitzen. Aller Staub sammelt sich auf dem Boden der Glasröhre an, wo er leicht durch Dekantieren ohne Verlust gewaschen werden kann, wenn man dafür Sorge trägt, jede Waschung durch eine Ruhezeit von 12 bis 20 Stunden zu unterbrechen.

Wenn der Staub genügend gewaschen ist, sammelt man ihn auf einem Uhrglase, auf dem der Rest der ihn benetzenden Flüssigkeit schnell verdampft; dann rührt man ihn mit etwas Wasser an und prüft ihn unter dem Mikroskop.

Diese sehr einfachen Manipulationen lassen erkennen, dafs in gewöhnlicher Luft beständig eine wechselnde Zahl Körperchen vorhanden ist, deren Gestalt und Bau anzeigt, dafs sie organisiert sind. Ihre Gröfse beläuft sich von den kleinsten Durchmessern an bis auf $^1/_{100}$ oder $^{1,5}/_{100}$ oder mehr Millimeter. Die einen sind vollkommen kugelrund, die anderen oval; ihre Umrisse treten mehr oder weniger klar hervor. Viele sind vollständig durchscheinend, aber es kommen auch undurchsichtige mit Körnern im Innern vor. Die durchscheinenden mit deutlichen Umrissen gleichen so sehr den gemeinen Schimmelsporen, dafs der geschickteste Mikroskopiker keinen Unterschied sehen würde. Das ist alles, was man darüber sagen kann; ebenso wie man nur behaupten kann, dafs unter den übrigen solche vorkommen, welche kugelförmigen und eingekapselten Infusorien und im allgemeinen jenen Kügelchen gleichen, welche man als Eier dieser kleinen Wesen betrachtet. Aber das ist, wie ich glaube, nicht möglich, zu behaupten, dafs dies eine Spore ist, geschweige denn die Spore dieser bestimmten Art, und dafs das ein Ei ist, und zwar das Ei dieses Urtierchens. Was mich anbelangt, so beschränke ich mich darauf, zu erklären, dafs diese Körperchen augenscheinlich organisiert sind, indem sie in jeder Hinsicht den Keimen der niedrigsten Organismen gleichen, und so verschieden an Gröfse und Bau sind, dafs sie unstreitig zu sehr zahlreichen Arten gehören.

Die Anwendung von Jodwasser zeigt auf die unzweideutigste Weise, dafs zwischen diesen Körperchen immer Stärkekörner vorkommen[1]). Aber es ist sehr leicht, alle derartigen Körperchen

---

[1]) Stärkekörner werden durch das Jod blau gefärbt.

zu entfernen, indem man den Staub mit Schwefelsäure anrührt, welche in wenigen Augenblicken alles, was Stärkemehl ist, löst.

Die Zahl der organisierten Körper, welche man nach dieser Methode auf den Baumwollfäden fixiert, ist sehr ansehnlich im Verhältnis zum Luftvolumen. Ich brauche nicht zu erwähnen, dafs die angewandte Baumwolle durchaus keine organisierten Körperchen enthielt und dafs ihre Lösung in dem alkoholischen Gemisch keinen anderen Rückstand hinterliefs als einige nichtgelöste Fasern.

Um die Ergebnisse, welche ich erzielt habe, zu widerlegen, hat Pouchet später den Staub geprüft, welchen der Schnee nach dem Schmelzen hinterläfst. „Der Schnee", sagt Pouchet, „wurde „in einem grofsen quadratischen Hof gesammelt. Nur die ober-„flächliche Schicht in einer Dicke von ungefähr 5 cm und in „einer Ausdehnung von 4 qm wurde verwendet." Ich habe nicht den Staub der Luft studiert, indem ich den Schnee schmelzen liefs, und ich weifs nicht, ob diese Methode so viel wert ist wie diejenige, welche ich befolgt habe. Jedenfalls ist es klar, dafs man den ersten gefallenen Schnee, die Schicht vom Boden und nicht die von der Oberfläche studieren mufs. Wenn der Schnee den Staub der Luft mit sich reifsen kann, so mufs der zuerst gefallene dies Amt übernehmen.

Ich glaube, dafs es von grofsem Interesse sein würde, die Studien über diesen Gegenstand auszudehnen und an ein und demselben Orte zu verschiedenen Jahreszeiten, sowie an verschiedenen Orten derselben Zeit, die in der Luft zerstreuten organisierten Körperchen zu vergleichen. Mir scheint, dafs die Phänomene der ansteckenden Krankheiten, besonders der epidemischen, durch in dieser Richtung fortgesetzte Arbeiten sich unserer Erkenntnis erschliefsen würden.

---

# 61. Kirchhoff und Bunsen schaffen die Spektralanalyse. 1860.

## G. Kirchhoff, Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente[1]).

*Gustav Robert Kirchhoff, geboren am 12. März 1824 in Königsberg, wurde 1854 Professor der Physik in Heidelberg, wo er in Gemeinschaft mit Robert Wilhelm Bunsen, geboren am 31. März 1811 in Göttingen, die Spektralanalyse entdeckte. Kirchhoff wurde 1873 nach Berlin berufen und starb im Jahre 1887, Bunsen verliefs dagegen seinen Heidelberger Lehrstuhl erst 1892, als er sich durch die Last der Jahre bewogen fühlte, öffentlicher Thätigkeit zu entsagen.*

Entwirft man durch ein Prisma ein Sonnenspektrum, das so rein wie möglich ist, und betrachtet dasselbe durch ein Fernrohr von geringer Vergröfserung, so erblickt man zwischen den Linien, die Fraunhofer[2]) durch Buchstaben bezeichnet hat, ein Gewirre von feinen Linien und nebeligen Streifen, das dem Auge nur wenig Anhalt bietet. Wendet man mehr Prismen und eine stärkere Vergröfserung an, so treten, wenn die Apparate die nötige Vollkommenheit besitzen, mehr und mehr Liniengruppen hervor, die so charakteristisch sind, dafs sie leicht aufgefafst und leicht wieder erkannt werden. Von diesen Liniengruppen sind in der Fraunhoferschen Zeichnung des Sonnenspektrums[3]) [Denkschriften der Münchener Akademie für 1814 und 1815] nur sehr wenige kenntlich; ich habe dieselben für den hellsten Teil des Sonnenspektrums so vollständig und treu wie möglich abzubilden gesucht[4]).

---

1) Besonderer Abdruck aus den Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1861. Zweite durch einen Anhang vermehrte Ausgabe. Berlin 1862.

2) Hervorragender Optiker, lebte 1787—1826 und entdeckte die dunklen Linien im Sonnenspektrum, die nach ihm die Fraunhoferschen Linien genannt wurden.

3) Fraunhofer bestimmte die Lage von mehr als 500 solcher Linien und benannte die hauptsächlichsten mit Buchstaben. A und B befinden sich im Rot, D an der Grenze von Orange und Gelb, E im grünen Teil des Spektrums.

4) Der von Kirchhoff benutzte Spektralapparat, bei welchem vier Prismen zur Anwendung kamen, findet sich in manchen Lehrbüchern der Physik abgebildet, so in dem bekannten Lehrbuch von P. Reis, 7. Auflage, Figur 217. Nachstehende Reproduktion von Kirchhoffs Zeichnung des Sonnenspektrums umfafst

Über die Zeichnung des Spektrums habe ich eine in Millimeter geteilte Skala mit einem willkürlich gewählten Anfangspunkt gesetzt. Diese dient dazu, eine jede der Linien mit Leichtigkeit zu bezeichnen. So bezeichne ich z. B. die beiden Linien, welche Fraunhofer D genannt hat, durch 100,28 und 100,68.

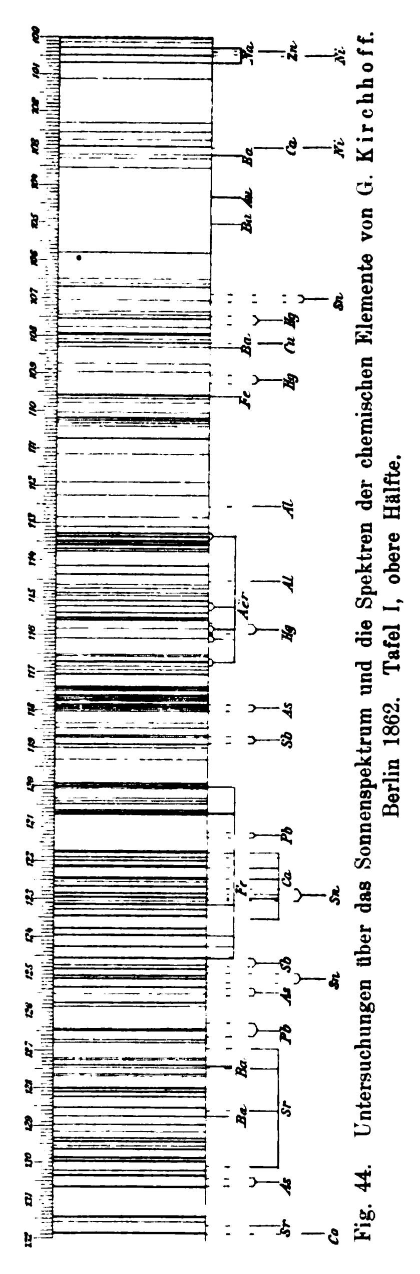


Fig. 44. Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente von G. Kirchhoff. Berlin 1862. Tafel I, obere Hälfte.

Brewster[1]) hat die wichtige Entdeckung gemacht, dafs in dem Sonnenspektrum neue dunkle Linien auftreten, wenn die Sonne sich dem Horizonte nähert, Linien, die unzweifelhaft ihren Ursprung in unserer Atmosphäre haben. Bei meinem Apparat habe ich Gruppen solcher Linien, namentlich in der Nähe der Linien D, in ausgezeichneter Schönheit oft sich entwickeln sehen; ich habe dieselben aber nicht in meine Zeichnung aufgenommen, welche das Sonnenspektrum, wie es bei hohem Stande der Sonne sich zeigt, darstellen soll.

Auch bei hohem Sonnenstande habe ich in den verschiedensten

---

nur einen kleinen zwischen den Fraunhoferschen Linien D und E gelegenen Teil desselben. Die Linie F liegt zwischen 152 und 153 der nach links fortgesetzt zu denkenden Skala.

1) David Brewster wurde 1781 in Schottland geboren und starb 1868. Er hat sich um die Optik grofse Verdienste erworben. In weiteren Kreisen ist Brewster als der Erfinder des Kaleidoskops und Stereoskops, sowie als Biograph Newtons bekannt geworden.

Teilen des Spektrums Andeutungen von Linien und nebelige Streifen wahrgenommen, die ich nicht wiederzugeben gesucht habe. Ich zweifle nicht, dafs es gelingen wird, durch Anwendung von mehr Prismen viele von diesen zu deutlichen Liniengruppen aufzulösen; aus der Leistung meines Apparates kann man schliefsen, dafs die optische Kunst soweit vorgeschritten ist, dafs man die doppelte oder dreifache Zahl der von mir benutzten Prismen anwenden dürfte, ohne der Schärfe der Linien Eintrag zu thun. Die Auflösung jener nebeligen Streifen scheint mir von einem ähnlichen Interesse zu sein wie die Auflösung der Nebelflecke am Fixsternhimmel, und die genauere Erforschung des Sonnenspektrums von keiner geringeren Wichtigkeit als die des Fixsternhimmels selbst.

## Die Spektren der chemischen Elemente.

Die Farbe, welche die Salze gewisser Metalle der Lötrohrflamme erteilen, ist seit langer Zeit von den Chemikern als Kennzeichen für die Gegenwart dieser Metalle benutzt worden, so das Gelb, welches Natriumsalze, das Violett, welches Kaliumsalze, das Grün, welches Bariumsalze hervorrufen. Dieses Erkennungsmittel versagt aber meist den Dienst, wenn mehrere dieser Metalle vorhanden sind, weil dann die durch sie erzeugten Farben sich gegenseitig verdecken. In vielen Fällen kann man diesem Übelstande mittels farbiger Gläser oder Flüssigkeiten abhelfen, durch die man die Flamme betrachtet[1]). Es lag nahe, anstatt der farbigen Gläser und Flüssigkeiten ein Prisma anzuwenden und durch dieses die gemischten Farben der Flamme zu zerlegen, um so mehr, als vielfach schon das Prisma zur Untersuchung von Flammenspektren benutzt war. Fraunhofer hatte in dem Spektrum der Kerzenflamme gewisse helle Linien gefunden, Brewster und Miller in den Spektren gewisser Salze andere. Miller hat seine Versuche in der Weise angestellt, dafs er das zu untersuchende Salz in Alkohol löste und die Flamme des Alkohols durch das Prisma analysierte. Bunsen und ich ersetzten bei einer gemeinsamen Arbeit (Poggendorffs Annalen Bd. 110) die Alkoholflamme durch die Bunsensche Gasflamme, die weniger leuchtet und eine höhere Temperatur besitzt. In den Saum dieser Flamme brachten wir mit Hülfe eines feinen Platindrahtes verschiedene Salze und

[1]) So erkennt man die Anwesenheit von Kalium neben Natrium, indem man die Flamme durch ein Kobaltglas oder eine Indigolösung betrachtet, welche das gelbe Licht der Natriumflamme auslöschen.

betrachteten das Spektrum der über der Salzperle sich erhebenden leuchtenden Dämpfe. Die Erscheinungen, die sich uns darboten, gehören zu den glänzendsten optischen Phänomen, welche man hervorrufen kann. Wir sahen nur das dem angewandten Salze entsprechende Spektrum, aber dieses in gröfstem Glanze, während bei den Versuchen von Miller das Eigentümliche desselben durch das Licht des verbrennenden Alkohols zum grofsen Teile verdeckt wurde.

Mit Sicherheit und Leichtigkeit konnten wir uns davon überzeugen, dafs die verschiedensten Salze desselben Metalls, wenn sie flüchtig sind, dieselben hellen Linien im Spektrum erzeugen, und dafs ein Gemisch von Salzen verschiedener Metalle ein Spektrum giebt, wie es durch die Übereinanderlagerung der den einzelnen Metallen entsprechenden Spektren entstehen würde. Wir konnten so auf diese hellen Spektrallinien eine Methode der qualitativen chemischen Analyse gründen, deren Fruchtbarkeit schon eine Reihe von Erfolgen bewiesen hat, welche durch sie gewonnen sind.

Zur genaueren Bestimmung der Spektrallinien der einzelnen Elemente bieten die dunklen Linien des Sonnenspektrums ein unschätzbares Hülfsmittel dar. Um dieses benutzen zu können, habe ich vor der oberen Hälfte des Spaltes meines Spektralapparats zwei kleine rechtwinklige Glasprismen so angebracht, dafs, während durch die untere Spalthälfte Sonnenstrahlen direkt eintreten, durch die obere die Strahlen einer seitlich aufgestellten künstlichen Lichtquelle nach zweimaliger totaler Reflexion zu den grofsen Prismen des Spektralapparats gelangen können. So wurde bewirkt, dafs, während in der oberen Hälfte des Gesichtsfeldes des astronomischen Beobachtungsfernrohrs das Sonnenspektrum sich zeigte, in der unteren, in unmittelbarem Anschlufs an dieses das Spektrum der künstlichen Lichtquelle zum Vorschein kam[1]. So liefs sich die Lage der dunklen Linien des einen zu den hellen des anderen mit Sicherheit beurteilen.

Um die Metallspektra zu erzeugen, habe ich mich fast ausschliefslich des elektrischen Funkens bedient, und zwar wegen der grofsen Lichtstärke, welcher derselbe gewährt. Das Spektrum des elektrischen Funkens ist zuerst von Fraunhofer untersucht worden, der mehrere helle Linien in demselben bemerkt hat. Darauf machte man die Entdeckung, dafs dieses Spektrum je nach der Natur der Elektroden verschieden ist. Man fand, dafs die hellen Linien,

---

[1]) Das astronomische Fernrohr liefert umgekehrte Bilder, daher erscheint das Sonnenspektrum über demjenigen der Lichtquelle.

die es bilden, in zwei Klassen zerfallen, von denen die eine durch die Gasart bedingt ist, in der der Funke sich bildet, die andere durch die Metalle, zwischen denen er überspringt.

Bei meinen Versuchen habe ich die elektrischen Funken durch einen Induktionsapparat erzeugt, der durch eine hinreichend kräftige galvanische Kette angeregt Funken von 0,3 m Länge zu geben vermochte. Dabei wurden die Elektroden mit den Lösungen der zu untersuchenden Salze bedeckt. Die hellen Linien, welche von der atmosphärischen Luft herrührten, in welcher der Funken übersprang, waren bei kleiner Schlagweite und geringer Breite des Spaltes wenig in die Augen fallend. Vergleicht man die Spektren verschiedener Metalle mit einander, so fällt auf, dafs mehrfach Linien derselben zusammenzufallen scheinen. Besonders deutlich sind eine Eisen- und eine Magnesiumlinie bei 165,56 und eine Eisen- und eine Calciumlinie bei 152,27. Es scheint mir die Frage von grofsem Interesse, ob die betreffenden Linien genau aufeinander fallen oder nur sehr nahe beinander liegen. Ich schreibe meinen Beobachtungen nicht die erforderliche Genauigkeit zu, um diese Frage zu entscheiden, und glaube, dafs hierzu noch eine Vergröfserung der Zahl der Prismen und eine Vermehrung der Lichtstärke nötig wäre.

Die Lage der hellen Linien im Spektrum eines glühenden Dampfes ist von der Temperatur und von der Anwesenheit anderer Dämpfe unabhängig. Sie wird durch die chemische Beschaffenheit des Dampfes bedingt. Die Richtigkeit dieses Satzes hat sich deutlich bei den Versuchen, die von Bunsen und mir zu seiner Prüfung ausgeführt sind, herausgestellt. Dabei kann aber das Aussehen des Spektrums desselben Dampfes unter verschiedenen Umständen ein sehr verschiedenes sein. Wenn die Dicke der Dampfschicht, deren Licht man untersucht, vermehrt wird, so wächst die Helligkeit aller Linien, aber in verschiedenen Verhältnissen. Einen ähnlichen Einflufs wie die Masse des glühenden Dampfes scheint seine Temperatur auszuüben. Wenn diese gesteigert wird, so tritt keine Verschiebung der Lichtmaxima ein, aber ihre Stärke wächst in so verschiedenem Mafse, dafs andere Linien die auffallendsten sind bei höherer, andere bei niedrigerer Temperatur. Dieser Einflufs der Masse und der Temperatur erklärt es vollständig, dafs bei vielen Metallspektren die am meisten charakteristischen Linien andere sind, wenn das Metall in der Gasflamme, andere, wenn es im elektrischen Funken untersucht wird. Die hellen Linien im Spektrum eines glühenden Gases können mit

den Tönen eines tönenden Körpers verglichen werden. Welches auch die Ursache sein mag, die diesen in Schwingungen versetzt, die Höhe des Tones ist immer dieselbe.

## Die Umkehrung der Flammenspektren.

Foucault[1]) stellte Versuche über die Spektren des elektrischen Bogens zwischen Spitzen von Kohle und verschiedenartigen Metallen an. Dabei machte er die Beobachtung, dafs die hellen Natriumlinien in dunkle verwandelt wurden, wenn er das Licht, welches von einer der Kohlenspitzen ausgegangen und durch den Bogen getreten war, zum Spektrum auseinanderlegte. Leitete er Sonnenlicht durch den Bogen, so zeigten sich die dunklen Linien D in ungewöhnlicher Stärke.

Diese Beobachtungen hat weder Foucault noch ein anderer Physiker zu erklären oder zu erweitern gesucht. Sie waren mir unbekannt, als Bunsen und ich 1859 unsere Untersuchungen über die Spektren farbiger Flammen begannen. Um das Zusammenfallen der Natriumlinien mit den Linien D zu prüfen, entwarf ich ein mäfsig helles Sonnenspektrum und brachte dann vor den Spalt des Apparates eine Natriumflamme. Dabei sah ich die dunklen Linien D sich in helle verwandeln. Um zu finden, wie weit die Lichtstärke des Sonnenspektrums sich steigern liefse, ohne dafs die Natriumlinien dem Auge verschwänden, liefs ich den vollen Sonnenschein durch die Natriumflamme auf den Spalt fallen und sah da zu meiner Verwunderung die dunklen Linien D in aufserordentlicher Stärke hervortreten. Ich ersetzte das Licht der Sonne durch das Drummond'sche Kalklicht[2]), dessen Spektrum wie das Spektrum eines jeden glühenden festen oder flüssigen Körpers keine dunklen Linien hat. Wurde dieses Licht durch eine geeignete Kochsalzflamme geleitet, so zeigten sich in dem Spektrum dunkle Linien an den Orten der Natriumlinien. Dasselbe trat ein, wenn ein Platindraht benutzt wurde, der durch einen elektrischen Strom seinem Schmelzpunkt nahe gebracht war.

Diese Erscheinungen finden eine leichte Erklärung in der Annahme, dafs eine Natriumflamme solche Strahlen absorbiert, die

---

[1]) Hervorragender französischer Physiker, geboren 1819 in Paris, starb im Jahre 1868. Bekannt ist Foucaults Pendelversuch, durch welchen er den direkten Beweis für die Umdrehung der Erde um ihre Axe lieferte.

[2]) Dasselbe wird durch Glühen von Kalk in einer mit Sauerstoff gespeisten Wasserstoffflamme hervorgerufen und ist sehr intensiv.



sie selbst aussendet, für alle andern aber durchsichtig ist. Dafs diese Annahme jene Erscheinungen erklärt, zeigt folgende Überlegung. Wenn man vor den glühenden Platindraht, dessen Spektrum betrachtet wird, eine Natriumflamme bringt, so ändert sich nach der bezeichneten Annahme die Helligkeit in der Nähe der Natriumlinien nicht; in diesen selbst ändert sie sich aus doppeltem Grunde: die Intensität des Lichtes, das von dem Platindraht ausgegangen ist, wird hier durch die Absorption der Flamme auf einen gewissen Bruchteil des ursprünglichen Wertes herabgesetzt, und das Licht der Flamme selbst wird hinzugebracht. Es ist klar, dafs wenn der Platindraht nur stark genug leuchtet, der durch die Absorption bewirkte Verlust an Licht den durch die Leuchtkraft der Flamme hervorgebrachten Gewinn überwiegen mufs; die Natriumlinien müssen dann dunkler als ihre Umgebung erscheinen und können, wenn die Absorption stark genug ist, durch den Kontrast mit der Umgebung ganz schwarz erscheinen, obgleich ihre Lichtstärke notwendig noch gröfser ist als diejenige, welche die Natriumflamme für sich allein hervorbringt.

Ebenso leicht wie die hellen Natriumlinien umgekehrt, d. h. in dunkle verwandelt werden können, ebenso leicht kann die rote Lithiumlinie umgekehrt werden. Läfst man durch eine Lithiumflamme Sonnenstrahlen treten, so zeigt sich im Spektrum an der Stelle der Lithiumlinie eine schwarze Linie, die an Deutlichkeit mit den ausgezeichnetsten Fraunhoferschen Linien wetteifert. Dieselbe verschwindet, wenn die Flamme entfernt wird. Weniger leicht ist die Umkehrung der hellen Linien anderer Metalle, doch ist Bunsen und mir diese geglückt bei den hellsten Linien von Kalium, Strontium, Calcium und Barium, indem wir Gemenge der chlorsauren Salze dieser Elemente mit Milchzucker vor dem Spalt des Spektralapparats verpufften, während die Sonnenstrahlen auf diesen fielen.

## Chemische Beschaffenheit der Sonnenatmosphäre.

Fraunhofer hat beobachtet, dafs die beiden dunklen Linien des Sonnenspektrums, welche er mit D bezeichnet hat, mit den beiden hellen Linien zusammenfallen, welche jetzt als die Linien des Natriums erkannt sind. Ein Blick auf die von mir entworfenen Tafeln zeigt eine grofse Zahl von ähnlichen Koincidenzen. Besonders auffallend ist es, dafs an den Örtern aller von mir beobachteten Eisenlinien sehr ausgezeichnete dunkle Linien im Sonnenspektrum

sich befinden[1]). Bei der Feinheit der von mir in Anwendung gebrachten Beobachtungsmittel glaube ich, dafs jede der von mir gefundenen Koincidenzen zwischen Eisenlinien und Linien des Sonnenspektrums als mit einer Sicherheit festgestellt betrachtet werden kann, die derjenigen mindestens gleich ist, mit der bisher die Koincidenz der Natriumlinien mit den Linien D bewiesen war. Die beobachtete Thatsache erklärt sich durch die Annahme, dafs die Lichtstrahlen, welche das Sonnenspektrum geben, durch Eisendämpfe gegangen sind und hier die Absorption erlitten haben, welche Eisendämpfe ausüben müssen. Der Annahme solcher Dämpfe in der Atmosphäre der Sonne steht aber bei der Temperatur, die wir dieser zuschreiben müssen, nichts entgegen. Die Beobachtungen des Sonnenspektrums scheinen mir die Gegenwart von Eisendämpfen in der Sonnenatmosphäre mit einer so grofsen Sicherheit zu beweisen, wie sie in den Naturwissenschaften überhaupt erreichbar ist.

Nachdem so die Gegenwart eines irdischen Stoffes in der Sonnenatmosphäre festgestellt und dadurch eine grofse Zahl Fraunhoferscher Linien erklärt ist, liegt die Vermutung nahe, dafs auch andere irdische Stoffe sich dort befinden und durch die Absorption, welche sie ausüben, andere Fraunhofersche Linien hervorbringen. Es ist namentlich wahrscheinlich, dafs Stoffe, welche hier an der Erdoberfläche in grofsen Massen vorhanden sind und zugleich durch besonders helle Linien in ihren Spektren sich auszeichnen, auf ähnliche Weise wie das Eisen sich in der Sonnenatmosphäre bemerklich machen werden. Es ist das in der That der Fall bei Calcium, Magnesium und Natrium. Allerdings ist die Zahl der hellen Linien in dem Spektrum eines jeden dieser Metalle nur eine kleine, aber diese Linien sowie diejenigen des Sonnenspektrums, mit denen sie zu koincidieren scheinen, sind von so ausgezeichneter Deutlichkeit, dafs diese Koincidenzen sich mit ganz besonderer Schärfe beobachten lassen.

Es schien von Interesse zu prüfen, ob in der Sonnenatmosphäre auch Nickel und Kobalt vorhanden sind, diese steten Begleiter des Eisens in den Meteormassen. Die Spektren dieser beiden Metalle zeichnen sich, wie das des Eisens, durch die aufserordentlich grofse Zahl ihrer Linien aus. Aber die Linien des Nickels und mehr noch die des Kobalts sind sehr viel weniger hell als die des

[1]) Die Lage der Metallinien findet sich in der Kirchhoffschen Zeichnung unter dem Spektrum angegeben (siehe Fig. 44). Die Zahl der Eisenlinien (Fe) ist in diesem Teile des Spektrums nur gering.



Eisens; ich konnte ihre Lage daher lange nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie es bei den Eisenlinien möglich gewesen war. Die helleren Linien des Nickels scheinen alle mit Linien des Sonnenspektrums zu koincidieren. Dasselbe findet statt bei einigen Linien des Kobalts, bei anderen von merklich gleicher Helligkeit aber nicht. Ich glaube aus meinen Beobachtungen schliefsen zu dürfen, dafs Nickel in der Sonnenatmosphäre sichtbar ist; ob dasselbe von Kobalt gilt, darüber halte ich mein Urteil zurück[1]).

Barium, Kupfer und Zink scheinen in der Sonnenatmosphäre vorhanden, aber nur in geringer Menge. Die übrigen Metalle, welche ich untersucht habe, nämlich Gold, Silber, Quecksilber, Aluminium, Kadmium, Zinn, Blei, Antimon, Arsen, Strontium, Lithium, sind nach meinen Beobachtungen in der Sonnenatmosphäre nicht sichtbar.

Um die dunklen Linien des Sonnenspektrums zu erklären, mufs man annehmen, dafs die Sonnenatmosphäre einen leuchtenden Körper umhüllt, der für sich allein ein Spektrum ohne dunkle Linien giebt. Die wahrscheinlichste Annahme, die man machen kann, ist die, dafs die Sonne aus einem festen oder tropfbar flüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kern besteht, der umgeben ist von einer Atmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur.

Diese Vorstellung von der Beschaffenheit der Sonne stimmt mit der von Laplace begründeten Hypothese über die Bildung unseres Planetensystems überein[2]). Wenn die Masse, die jetzt in den einzelnen Körpern desselben konzentriert ist, in früheren Zeiten einen zusammenhängenden Nebel von ungeheurer Ausdehnung bildete, durch dessen Zusammenziehung Sonne, Planeten und Monde entstanden sind, so mufsten alle diese Körper bei ihrer Bildung im wesentlichen von ähnlicher Beschaffenheit sein. Die Geologie hat gelehrt, dafs die Erde einst in glühend flüssigem Zustande sich befunden hat; man mufs annehmen, dafs auch die anderen Körper

---

[1]) Spätere Untersuchungen haben das Vorhandensein von Kobalt in der Sonnenatmosphäre dargethan. Durch die Spektralanalyse ist die Anwesenheit von mehr als 30 Elementen in der Sonne mit Sicherheit nachgewiesen; darunter befinden sich Eisen, Nickel, Mangan, Chrom, Kobalt, Kohlenstoff (200 Linien), Calcium, Magnesium, Natrium, Silicium, Strontium, Barium, Aluminium, Zink, Kupfer, Silber, Zinn, Blei, Kalium. Im Sonnenspektrum nicht nachgewiesen sind: Antimon, Arsen, Wismut, Bor, Stickstoff, Gold, Quecksilber, Phosphor, Schwefel (nach H. A. Rowland, John Hopkins University Circulars, 1891, X). Doch ist damit nicht etwa schon der Nachweis geliefert, dafs die letztgenannten Elemente an der Zusammensetzung des Sonnenkörpers nicht beteiligt sind.

[2]) Siehe **24**, S. 134.

unseres Systems einmal in einem solchen gewesen sind. Die Abkühlung, die infolge der Ausstrahlung der Wärme bei allen eingetreten ist, hat aber bei ihnen sehr verschiedene Grade erlangt; und während der Mond kälter als die Erde geworden ist, ist die Temperatur des Sonnenkörpers noch nicht unter die Weifsglühhitze gesunken. Die irdische Atmosphäre, die jetzt nur wenige Elemente enthält, mufste als die Erde noch glühte, eine viel mannigfaltigere Zusammensetzung haben; alle in der Glühhitze flüchtigen Stoffe mufsten in ihr vorkommen. Eine entsprechende Beschaffenheit mufs heute noch die Atmosphäre der Sonne besitzen[1]).

# 62. Alexander von Humboldt vereinigt die Summe des Naturwissens seiner Zeit zu einem Gesamtbilde. 1845.

## Allgemeine Übersicht der Erscheinungen[2]).

*Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt wurde in Berlin am 14. September 1769 geboren. Vom Jahre 1787 bis 1790 studierte er als Berufswissenschaft Jurisprudenz, gleichzeitig wandte er sich aber mit grofsem Eifer dem Studium der Naturkunde zu. 1792 sehen wir Humboldt als Schüler des berühmten Mineralogen Werner in Freiburg. Darauf widmete er sich einige Jahre dem staatlichen Bergwesen und der Vorbereitung für ein gröfseres Reiseunternehmen. Dasselbe nahm fünf Jahre in Anspruch (1799—1804) und erstreckte sich auf die wichtigsten Teile des tropischen Süd- und Mittelamerikas. Von 1808—1826 war Humboldt in Paris mit der Herausgabe des grofsen Werkes über diese Reise beschäftigt. 1827 nahm er auf Wunsch seines Königs ständigen Aufenthalt in Berlin, der aber bald darauf durch eine Expedition in das asiatische Rufsland (1829) unterbrochen wurde. Humboldt starb am 6. Mai 1859. Mit ihm schied ein Geist, der es noch einmal gewagt hatte,*

1) Auch Rowland, dem man in neuester Zeit die besten Spektralapparate (Rowlandsche Gitter) und sehr zuverläfsige Untersuchungen verdankt, ist der Meinung, dafs unsere Erde, auf die Temperatur der Sonne erhitzt, ein dem Sonnenspektrum sehr ähnliches Spektrum zeigen würde.

2) Kosmos oder Entwurf einer physischen Weltbeschreibung von A. v. Humboldt. Gekürzte Wiedergabe des dritten Abschnittes (Bd. I, S. 79—386). Cottasche Ausgabe, Stuttgart und Tübingen 1845.



*das zu einem mächtigen Strome angeschwollene Wissen seiner Zeit in sich aufzunehmen und zu einem Gesamtbilde zu verarbeiten. So entstand der „Kosmos“, ein einzigartiges Buch. Durch die Gröfse der darin gelösten Aufgabe, wissenschaftliche Gründlichkeit des Inhalts und vollendete sprachliche Darstellung hat Humboldt sich und seinem Vaterlande in diesem Schriftwerke ein unvergängliches Denkmal gesetzt.*

Wenn der menschliche Geist sich erkühnt, die Materie, d. h. die Welt physischer Erscheinungen zu beherrschen, wenn er bei denkender Betrachtung des Seienden die reiche Fülle des Naturlebens, das Walten der freien und gebundenen Kräfte zu durchdringen strebt, so fühlt er sich zu einer Höhe gehoben, von der herab, bei weit hinschwindendem Horizonte, ihm das Einzelne nur gruppenweise verteilt, wie umflossen von leichtem Dufte erscheint. Dieser bildliche Ausdruck ist gewählt, um den Standpunkt zu bezeichnen, aus dem wir hier versuchen, das Universum zu betrachten und in seinen beiden Sphären, der himmlischen und der irdischen, anschaulich darzustellen.

Wir beginnen mit den Tiefen des Weltraumes und der Region der fernsten Nebelflecke, stufenweise herabsteigend durch die Sternschicht, der unser Sonnensystem angehört, zu dem luft- und meerumflossenen Erdsphäroid, seiner Gestaltung, Temperatur und magnetischen Spannung, zu der Lebensfülle, welche, vom Lichte angeregt, sich an seiner Oberfläche entfaltet. So umfafst ein Weltgemälde in wenigen Zügen die ungemessenen Himmelsräume, wie die mikroskopisch kleinen Organismen des Tier- und Pflanzenreichs, welche unsere stehenden Gewässer und die verwitternde Rinde der Felsen bewohnen.

Erst in den Lebenskreisen der organischen Bildung erkennen wir recht eigentlich unsere Heimat. Wo der Erde Schofs ihre Blüten und Früchte entfaltet, wo er die zahllosen Geschlechter der Tiere nährt, da tritt das Bild der Natur lebendiger vor unsere Seele; der glanzvolle Sternenteppich, die weiten Himmelsräume gehören dagegen einem Weltgemälde an, in dem die Gröfse der Massen, die Zahl zusammengedrängter Sonnen oder aufdämmernder Lichtnebel unsere Bewunderung und unser Staunen erregen, dem wir uns aber, bei scheinbarer Verödung, bei völligem Mangel an dem unmittelbaren Eindruck eines organischen Lebens, wie entfremdet fühlen. So sind denn auch nach den frühesten physikalischen Ansichten der Menschheit Himmel und Erde, räumlich ein Oben

und Unten, von einander getrennt geblieben. Sollte demnach ein Naturbild blofs den Bedürfnissen sinnlicher Anschauung entsprechen, so müfste es mit der Beschreibung des heimischen Bodens beginnen.

Es würde zuerst den Erdkörper in seiner Gröfse und Form schildern, seine mit der Tiefe zunehmende Dichtigkeit und Wärme, seine über einander gelagerten starren und flüssigen Schichten; es würde die Scheidung von Meer und Land schildern, sowie das Leben, das sich in beiden als zelliges Gewebe der Pflanzen und Tiere entwickelt, den wogenden, stromreichen Luftocean, von dessen Boden waldgekrönte Bergketten wie Klippen und Untiefen aufsteigen. Nach dieser Schilderung erhöbe sich der Blick zu den Himmelsräumen. Die Erde, der uns wohlbekannte Sitz organischer Gestaltungsprozesse, würde nun als Planet betrachtet; er träte in die Reihe der Weltkörper, die um einen der zahllosen selbstleuchtenden Sterne kreisen. In einem Weltgemälde indes darf das Irdische nur als ein Teil des Ganzen, als diesem untergeordnet erscheinen. Wir beginnen daher nicht mit unserer Erde, sondern mit dem, was die Himmelsräume erfüllt.

Hier sehen wir die Materie teils zu rotierenden und kreisenden Weltkörpern von sehr verschiedener Dichtigkeit und Gröfse geballt, teils dunstförmig als Lichtnebel zerstreut. Man glaubt letztere mannigfaltigen, fortschreitenden Gestaltungs-Prozessen unterworfen, je nachdem sich in ihnen der Weltdunst um einen oder um mehrere Kerne nach Attraktionsgesetzen verdichtet.

Gehen wir zu dem geballten, starren Teil des Universums über, so nähern wir uns einer Klasse von Erscheinungen, die ausschliefslich mit dem Namen Gestirne bezeichnet werden. Aber auch hier sind die Grade der Dichtigkeit verschieden. Wenn man den Merkur mit der Sonne, dem Jupiter und dem Saturn vergleicht, so gelangt man in absteigender Stufenfolge, um an irdische Stoffe zu erinnern, von der Dichtigkeit des Antimonmetalles zu der des Honigs, des Wassers und des Tannenholzes.

Was Kant nach Vernunftschlüssen von der allgemeinen Anordnung des Weltgebäudes geahnt[1], ist durch William Herschel auf dem sicheren Wege der Beobachtung und Messung ergründet worden. Der grofse, begeisterte und doch so vorsichtig forschende Mann hat zuerst das Senkblei in die Tiefen des Himmels geworfen, um die Grenzen und die Form der abgesonderten Sternschicht zu bestimmen, die wir bewohnen. Er hat zuerst gewagt, die Ver-

1) Siehe 23, S. 126.

hältnisse der Lage und des Abstandes ferner Nebelflecke zu unserer Sternschicht aufzuklären. Wie Columbus ist er vorgedrungen in ein unbekanntes Weltmeer, Küsten und Inselgruppen erblickend, deren letzte wahre Ortsbestimmung kommenden Jahrhunderten vorbehalten bleibt.

Unter den vielen selbstleuchtenden, ihren Ort verändernden Sonnen, welche unsere Weltinsel bilden, ist unsere Sonne die einzige, die wir als Centralkörper durch wirkliche Beobachtung in dem Verhältnis zu der von ihr unmittelbar abhängigen, um sie kreisenden geballten Materie kennen. Letztere besteht nach unserer jetzigen Kenntnis aus elf Hauptplaneten[1]), achtzehn Monden oder Nebenplaneten und Myriaden von Kometen, von denen drei das enge Gebiet der Hauptplaneten nicht verlassen. Mit nicht geringer Wahrscheinlichkeit dürfen wir auch dem Gebiete unserer Sonne zuzählen: erstens einen Ring dunstartiger Materie, vielleicht zwischen der Venus- und Marsbahn gelegen, gewifs die Erdbahn überschreitend und uns als Zodiakallicht sichtbar; zweitens eine Schar von sehr kleinen Weltkörpern, deren Bahnen unsere Erdbahn schneiden und die Erscheinungen von Aërolithen und Sternschnuppen darbieten.

Obgleich Halley schon die grofse Feuerkugel von 1686, deren Bewegung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn entgegengesetzt war, für ein kosmisches Phänomen erklärte, so ist es doch erst Chladni gewesen, der in der gröfsten Allgemeinheit (1794) den Zusammenhang zwischen den Feuerkugeln und den aus der Atmosphäre herabgefallenen Steinen, wie die Bewegung der ersteren im Weltraume auf das Scharfsinnigste erkannt hat[2]).

Wenn man die im Durchschnitt uns gewifs näheren Sterne erster Gröfse mit den teleskopischen, wenn man die Nebelsterne mit den ganz unauflöslichen Nebelflecken vergleicht, so drängt sich uns eine Thatsache auf, welche die Welt der Erscheinungen und das, was ihr ursächlich zu Grunde liegt, als abhängig von der Fortpflanzung des Lichtes zeigt. Die Geschwindigkeit desselben ist nach den neuesten Untersuchungen 41 518 geographische Meilen in einer Sekunde, also fast eine Million mal gröfser als die Geschwindigkeit des Schalles. Nach dem, was wir durch die Messungen Bessels[3]) und anderer über die Entfernungen dreier Fixsterne

[1]) Von den Planetoiden waren vor 1845 nur Vesta, Juno, Ceres und Pallas bekannt; seitdem hat man mehrere hundert entdeckt.

[2]) Siehe 25, S. 139.

[3]) Siehe 55, S. 318.

sehr ungleicher Gröfse ($\alpha$ Centaur, 61 Schwan, $\alpha$ Leyer) wissen, bedarf ein Lichtstrahl 4—12 Jahre, um von diesen Weltkörpern zu uns zu gelangen. In der Periode von 1572—1604 loderten plötzlich 3 neue Sterne auf. Dieselbe Erscheinung zeigte sich 1670. In der neuesten Zeit hat Sir John Herschel den Glanz eines Sternes von der 2. Gröfse bis zur 1. prachtvoll anwachsen sehen. Solche Begebenheiten des Weltraumes gehören aber in ihrer historischen Wirklichkeit anderen Zeiten an als denen, in welchen die Lichterscheinung den Erdbewohnern ihren Anfang verkündigt; sie sind wie Stimmen der Vergangenheit, die uns erreichen. Man hat mit Recht gesagt, dafs wir mit unseren grofsen Fernröhren gleichzeitig vordringen in den Raum und in die Zeit. William Herschel glaubt, dafs das Licht fast 2 Millionen Jahre brauche, um von den fernsten Lichtnebeln, die sein 40 füfsiger Refraktor erreicht, zu uns zu gelangen. Vieles ist also längst verschwunden, ehe es uns sichtbar wird, vieles war anders geordnet. Der Anblick des gestirnten Himmels bietet Ungleichzeitiges dar; und so viel man auch den milde leuchtenden Duft der Nebelflecke oder die dämmernd aufglimmenden Sternhaufen uns näher rücken und die Tausende von Jahren vermindern will, welche als Mafs der Entfernung gelten, immer bleibt es, nach der Kenntnis, die wir von der Geschwindigkeit des Lichtes haben, mehr als wahrscheinlich, dafs das Licht der fernen Weltkörper das älteste sinnliche Zeugnis von dem Dasein der Materie darbietet.

Aus der Region der himmlischen Gestaltungen steigen wir nun zu dem Sitz der irdischen Kräfte, zu den Kindern der Gaea herab. Ein geheimnisvolles Band umschlingt beide Klassen von Erscheinungen. Gehört schon seinem Ursprunge nach der Erdball, wie jeder der anderen Planeten, dem Centralkörper an, so besteht auch noch jetzt durch Licht und strahlende Wärme der Verkehr mit dieser nahen Sonne, wie mit allen fernen Sonnen, welche am Firmamente leuchten. Was aber das Licht im Luftkreise anregt, wie es zauberhaft den Lebensfunken in den organischen Gebilden an der Oberfläche der Erde erweckt und wohlthätig nährt, das wird der Gegenstand späterer Betrachtungen sein.

Indem wir uns der tellurischen Sphäre zuwenden, werfen wir zuerst den Blick auf die Raumverhältnisse des Starren und Flüssigen, auf die Gestalt der Erde, ihre mittlere Dichtigkeit, ihren Wärmegehalt und ihre magnetische Ladung. Diese Raumverhältnisse und die der Materie innewohnenden Kräfte führen uns auf die Reaktion des Innern gegen das Äufsere unseres Erdkörpers.

Die von unten erschütterte Erdrinde verändert, bald ruckweise, bald ununterbrochen und darum kaum bemerkbar, ihr Höhenverhältnis zur Oberfläche des Flüssigen. Gleichzeitig bilden sich vorübergehende Spalten oder bleibende Oeffnungen, durch welche das Innere der Erde mit dem Luftkreise in Verbindung tritt. Der unbekannten Tiefe entquollen, fliefsen geschmolzene Massen längs dem Abhange der Berge hinab, bis die feurige Quelle versiegt, und die Lava unter einer Decke, die sie sich selbst gebildet, erstarrt. So entstehen neue Felsmassen unter unseren Augen, während die älteren, schon gebildeten durch die unterirdischen Kräfte umgewandelt werden. Bildungen ganz anderer Natur bieten die Gewässer dar: Versteinerungen von Tier- und Pflanzenresten, Entstehung erdiger, kalk- und thonartiger Niederschläge, Anhäufungen fein zerriebener Gebirgsarten, überdeckt mit Lagen kieselgepanzerter Infusorien und mit knochenhaltigem Schuttlande, dem Sitze urweltlicher Tierformen. Was auf so verschiedenen Wegen sich erzeugt und zu Schichten gestaltet, was durch gegenseitigen Druck und vulkanische Kräfte mannigfach gestürzt, gekrümmt und aufgerichtet wird, führt den denkenden Beobachter auf die Vergleichung der gegenwärtigen und der längst vergangenen Zeit.

Das eigentliche Erdinnere ist uns ebenso unbekannt wie das Innere der anderen Planeten unseres Sonnensystems. Wir können nichts mit Sicherheit bestimmen über die Tiefe, in welcher die Gebirgsschichten als zäherweicht oder geschmolzen betrachtet werden müssen, über den Zustand der Flüssigkeiten, wenn sie unter einem ungeheuren Druck erglühen, über das Gesetz der zunehmenden Dichtigkeit von der Oberfläche der Erde bis zu ihrem Centrum hin.

Die Betrachtung der mit der Tiefe zunehmenden Wärme unseres Planeten und der Reaktion des Innern gegen die Oberfläche führt zu der langen Reihe der vulkanischen Erscheinungen. Sie offenbaren sich als Erdbeben, Gas-Ausbrüche, heifse Quellen und Lavaströme aus Eruptions-Krateren, ja sogar als räumliche Veränderung in dem Niveau der Oberfläche. Grofse Flächen, mannigfaltig gegliederte Kontinente werden gehoben oder gesenkt, es scheidet sich das Starre von dem Flüssigen; der Ocean selbst, von warmen und kalten Strömungen flufsartig durchschnitten, gerinnt an beiden Polen und wandelt das Wasser in dichte Felsmassen um, bald geschichtet und feststehend, bald in bewegliche Bänke zertrümmert. Die Grenzen von Meer und Land wurden mannigfach und oft verändert. Nach der Hebung der Kontinente

traten auf langen Spalten, meist in paralleler Richtung, Gebirgsketten empor.

Nicht nur die mineralogische Beschaffenheit, die krystallinisch-körnigen und die dichten, mit Versteinerungen angefüllten Gebirgsarten, sondern auch die geometrische Gestalt der Erde selbst bezeugt die Art ihrer Entstehung. Ein Rotationsellipsoid deutet auf eine einst weiche oder flüssige Masse. Zu den ältesten geologischen Begebenheiten, allen Verständigen lesbar in dem Buche der Natur niedergeschrieben, gehört die Abplattung, deren Gröfse man durch Gradmessungen und Pendelschwingungen ermittelt hat.

Pendelschwingungen und Bleilot haben auch dazu gedient, die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen. Sei es, dafs man die Ablenkung des Bleilots von der Vertikalen in der Nähe eines Berges suchte, oder durch Vergleichung der Pendellänge in der Ebene und auf dem Gipfel einer Anhöhe, oder endlich durch Anwendung der Drehwage, die man als ein horizontal schwingendes Pendel betrachten kann, die relative Dichtigkeit der nahen Erdschichten mafs. Die letzte dieser drei Methoden ergiebt nach den neuesten Versuchen von Reich 5,44, d. h. sie zeigt, dafs die mittlere Dichtigkeit der ganzen Erde soviel mal gröfser ist als die des reinen Wassers.

Dafs mit zunehmender Tiefe die Wärme des Erdkörpers zunimmt, bezeugt die Temperatur des Gesteins in den Bergwerken, vor allem aber der Ergufs geschmolzener Massen aus geöffneten Spalten. Am schwierigsten für unsere Fassungskraft ist die Vorstellung von der Grenzlinie zwischen der flüssigen Masse des Innern und den schon erhärteten Gebirgsarten der äufseren Erdrinde. Sonne und Mond, welche das Meer in Ebbe und Flut versetzen, wirken höchst wahrscheinlich auch bis zu jenen Tiefen. Unter dem Gewölbe schon erstarrter Gebirgsarten kann man periodische Hebungen und Senkungen der geschmolzenen Masse, Ungleichheiten des gegen das Gewölbe ausgeübten Druckes vermuten. Das Mafs und die Wirkung solcher Schwankungen kann aber nur gering sein; und wenn der relative Stand der anziehenden Weltkörper auch hier Springfluten erregen mufs, so ist doch gewifs nicht diesen, sondern mächtigeren inneren Kräften die Erschütterung der Erdoberfläche zuzuschreiben.

So uralt auch bei den westlichen Völkern die Kenntnis der Ziehkraft natürlicher Magnete zu sein scheint, so war doch die Richtkraft einer Magnetnadel, ihre Beziehung zu dem Erdmagnetismus, lange Zeit nur dem äufsersten Osten von Asien, den Chinesen,

bekannt. Wenigstens 700 Jahre vor der Einführung des Schiffskompasses in Europa segelten schon chinesische Fahrzeuge im indischen Ocean nach magnetischer Weisung.

Die magnetische Kraft unseres Planeten offenbart sich an seiner Oberfläche in drei Klassen von Erscheinungen, deren eine die veränderliche Intensität der Kraft, zwei andere die veränderliche Richtung in der Neigung und in der horizontalen Abweichung vom Meridian des Ortes darbieten. Doch sind alle magnetischen Erscheinungen einem ewigen Wechsel, einer oscillatorischen Bewegung nach den Stunden des Tages und der Nacht, nach den Jahreszeiten und dem Verlauf der Jahre unterworfen. Von Toronto in Canada bis zum Vorgebirge der guten Hoffnung, von Paris bis Peking ist die Erde seit dem Jahre 1828 mit magnetischen Warten bedeckt worden, in denen ununterbrochen durch gleichzeitige Beobachtungen jede regelmäfsige oder unregelmäfsige Regung der Erdkraft erspäht wird. Nie ist eine so grofsartige, so erfreuliche Anstrengung gezeigt worden, um das Quantitative der Gesetze in einer Naturerscheinung zu ergründen. Man darf daher wohl mit Recht hoffen, dafs diese Gesetze, mit denen verglichen, welche im Luftkreise und in noch ferneren Räumen walten, uns allmählich der Ursache der magnetischen Erscheinungen selbst näher führen werden.

Die Physik der Erde reiht Gruppen von Erscheinungen, welche auf den ersten Blick in keinem Zusammenhang zu stehen scheinen, wie Thermalquellen, Ausströmungen von Kohlensäure, Schlammausbrüche und die furchtbaren Verheerungen feuerspeiender Berge, aneinander. In einem grofsen Naturbilde schmilzt dies alles in den Begriff der Reaktion des Innern eines Planeten gegen seine Rinde zusammen. In den Tiefen der Erde erkennen wir ferner die Keime erschütternder Bewegung, allmählicher Hebung ganzer Kontinente sowohl wie der Bergketten und mannigfaltiger Erzeugung von Mineralien und Gebirgsarten. Aber nicht die unorganische Natur allein ist unter dem Einflusse dieser Reaktion des Inneren gegen das Äufsere geblieben. Es ist sehr wahrscheinlich, dafs in der Urwelt mächtigere Ausströmungen von kohlensaurem Gas, dem Luftkreise beigemengt, den Kohle abscheidenden Prozess des Pflanzenlebens erhöhten, und dafs so ein unerschöpfliches Material von Brennstoff (Braunkohle und Steinkohle) in den oberen Erdschichten vergraben wurde. Auch die Schicksale der Menschheit erkennen wir als teilweise abhängig von der Gestaltung der

äufseren Erdrinde, von der Richtung der Gebirgszüge und Hochländer, sowie der Gliederung der gehobenen Kontinente.

Die Wirkung eines feuerspeienden Berges, so furchtbar malerisch auch das Bild ist, welches sich den Sinnen darbietet, ist doch immer nur auf einen sehr kleinen Raum eingeschränkt. Ganz anders ist es mit den Erdstöfsen. Das grofse Erdbeben, welches am 1. November 1755 Lissabon zerstörte und dessen Wirkungen der grofse Weltweise Immanuel Kant[1]) so trefflich nachgespürt hat, wurde in den Alpen, an den schwedischen Küsten, auf den antillischen Inseln, an den grofsen Seen von Canada, in Thüringen und in dem nördlichen Flachlande von Deutschland empfunden. Ferne Quellen wurden in ihrem Laufe unterbrochen, eine Erscheinung bei Erdstöfsen, die man schon im Altertum bemerkt hat. So versiegten z. B. die Teplitzer Thermen und kamen, alles überschwemmend, mit vielem Eisenocker gefärbt, zurück. In Cadix erhob sich das Meer bis zu 60 Fufs Höhe, während in den kleinen Antillen die gewöhnlich nur 26 bis 28 Zoll hohe Flut urplötzlich 20 Fufs hoch stieg. Man hat berechnet, dass am 1. November 1755 ein Erdraum erbebte, welcher an Grösse viermal die Oberfläche von Europa übertraf. Wenn man Nachrichten von dem täglichen Zustande der gesamten Erdoberfläche haben könnte, so würde man sich sehr wahrscheinlich davon überzeugen, dafs fast immerdar, an irgend einem Punkte, diese Oberfläche erbebt, dafs sie ununterbrochen der Reaktion des Inneren gegen das Äufsere unterworfen ist.

Ehe wir diese grofse Erscheinung verlassen, müssen wir noch die Ursache des unaussprechlich tiefen und ganz eigentümlichen Eindrucks berühren, welchen das erste Erdbeben, das wir empfinden, in uns zurückläfst. Was uns so wundersam ergreift, ist die Enttäuschung von dem angeborenen Glauben an die Ruhe und Unbeweglichkeit des Starren. Von früher Kindheit sind wir an den Kontrast zwischen dem beweglichen Element des Wassers und der Unbeweglichkeit des Bodens, auf dem wir stehen, gewöhnt. Alle Zeugnisse unserer Sinne haben diesen Glauben befestigt. Wenn nun urplötzlich der Boden erbebt, so tritt geheimnisvoll eine unbekannte Naturmacht als das Starre bewegend, als etwas Handelndes auf. Ein Augenblick vernichtet die Illusion des ganzen früheren Lebens. Wir fühlen uns in den Bereich zerstörender, unbekannter Kräfte versetzt. Jeder Schall, die leiseste

1) **Kant**, Geschichte und Naturbeschreibung des Erdbebens vom Jahre 1755.



Regung der Lüfte spannt unsere Aufmerksamkeit. Man traut gleichsam dem Boden nicht mehr, auf den man tritt. Das Ungewöhnliche der Erscheinung bringt dieselbe ängstliche Unruhe bei den Tieren hervor. Die Krokodile im Orinoko, sonst so stumm wie unsere kleinen Eidechsen, verlassen den erschütterten Boden des Flusses und laufen brüllend dem Walde zu.

Dem Menschen stellt sich das Erdbeben als etwas Allgegenwärtiges dar. Von einem thätigen Ausbruch-Krater, einem auf unsere Wohnung gerichteten Lavastrom kann man sich entfernen; bei dem Erdbeben glaubt man sich überall, wohin auch die Flucht gerichtet sei, über dem Herd des Verderbens. Ein solcher Zustand des Gemüts ist aber nicht von langer Dauer, folgt in einem Lande eine Reihe von schwachen Erdstöfsen aufeinander, so verschwindet bei den Bewohnern fast jegliche Spur der Furcht. An den regenlosen Küsten von Peru kennt man weder Hagel noch den rollenden Donner. Den letzteren ersetzt dort das unterirdische Getöse, welches die Erdstöfse begleitet. Vieljährige Gewohnheit und die sehr verbreitete Meinung, als seien gefahrbringende Erschütterungen nur zwei- oder dreimal in einem Jahrhundert zu befürchten, machen, dafs in Lima schwache Oscillationen des Bodens kaum mehr Aufmerksamkeit erregen als ein Hagelwetter in der gemäfsigten Zone.

Unser Planet hat zwei Umhüllungen, eine allgemeine, den Luftkreis, und eine nur lokal verbreitete, die Feste umgrenzende, das Meer. Beide Umhüllungen, Luft und Meer, bilden ein Naturganzes, welches der Erdoberfläche die Verschiedenheit der Klimate giebt, und zwar nach Mafsgabe der relativen Ausdehnung von Meer und Land, der Gliederung und Orientierung der Feste, der Richtung und Höhe der Gebirgsketten.

In dem jetzigen Zustande der Oberfläche unseres Planeten verhält sich das Areal der Feste zu dem des Flüssigen wie 100 : 270. Die Inseln bilden kaum $^1/_{23}$ der Kontinentalmassen. Letztere sind so ungleich verteilt, dafs sie auf der nördlichen Halbkugel dreimal so viel Land darbieten als auf der südlichen. Die südliche Hemisphäre ist also recht eigentlich vorherrschend oceanisch.

Das Luftmeer, auf dessen Boden oder Untiefen wir leben, bietet Naturerscheinungen dar, welche den innigsten Zusammenhang mit einander zeigen und aus der chemischen Zusammensetzung, sowie aus den Änderungen des Druckes, der Temperatur, der Feuchtigkeit und der Elektricität entstehen. Enthält die Luft im Sauerstoff das erste Element des Lebens, so mufs in ihrem

Dasein noch eine andere Wohlthat, man möchte sagen höherer Art, anerkannt werden. Die Luft ist nämlich die Trägerin des Schalles, also auch der Sprache, der Mitteilung der Ideen, der Geselligkeit unter den Völkern. Wäre der Erdball der Atmosphäre beraubt, wie unser Mond, so stellte er sich uns in der Phantasie als eine klanglose Einöde dar.

Seitdem ich in den „Ansichten der Natur“ die Allbelebtheit der Erdoberfläche geschildert habe, ist unsere Kenntnis in dieser Richtung durch Ehrenbergs[1]) glänzende Entdeckungen „über das Verhalten des kleinsten Lebens in dem Weltmeere wie in dem Eise der Polarländer“ auf eine überraschende Weise vermehrt worden. In der ewigen Nacht der oceanischen Tiefen herrscht das Tierleben, während auf den Kontinenten, des periodischen Reizes der Sonnenstrahlen bedürftig, das Pflanzenleben am meisten verbreitet ist. Der Masse nach überwiegt im allgemeinen der pflanzliche Organismus bei weitem den tierischen auf der Erde. Was ist die Zahl grofser Waltiere und Dickhäuter gegen das Volumen dichtgedrängter, riesenmäfsiger Baumstämme von acht bis zwölf Fufs Durchmesser in dem einzigen Waldraum, welcher die Tropenzone von Südamerika zwischen dem Orinoko, dem Amazonenflufs und dem Rio da Madeira erfüllt! Wenn auch der Charakter der verschiedenen Erdräume von allen äufseren Erscheinungen zugleich abhängt, so ist doch nicht zu leugnen, dafs das Hauptbestimmende dieses Eindrucks die Pflanzendecke ist.

1) Chr. G. Ehrenberg, geboren am 19. April 1795, gestorben in Berlin am 27. Juni 1876, hervorragender Mikroskopiker, verdient um die Erforschung der Infusorien und der gesteinbildenden mikroskopischen Organismen.



# GRUNDRISS

EINER

# GESCHICHTE DER NATURWISSENSCHAFTEN

ZUGLEICH EINE EINFÜHRUNG

IN DAS

STUDIUM DER GRUNDLEGENDEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN LITTERATUR

VON

DR. FRIEDRICH DANNEMANN

DIREKTOR DER REALSCHULE ZU BARMEN

II. BAND

*MIT 76 ABBILDUNGEN ZUM GRÖSSTEN TEIL IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN UND EINER SPEKTRALTAFEL*

---

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1898.



# DIE ENTWICKLUNG

DER

# NATURWISSENSCHAFTEN

DARGESTELLT

VON

**DR. FRIEDRICH DANNEMANN**

DIREKTOR DER REALSCHULE ZU BARMEN

***MIT 76 ABBILDUNGEN ZUM GRÖSSTEN TEIL IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN UND EINER SPEKTRALTAFEL***

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1898.



Druck der Kgl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz in Würzburg.

# Vorwort.

Dem 1896 erschienenen I. Bande meiner Geschichte der Naturwissenschaften, welcher eine Art Propädeutik bildet, lasse ich in dem vorliegenden II. Bande die in Aussicht gestellte zusammenhängende Darstellung der Entwicklung der Naturwissenschaften folgen.

Über Zweck und Ziel des ganzen Werkes habe ich mich in dem Vorwort zum I. Bande ausgesprochen. Hier liegt mir noch die angenehme Pflicht ob, Herrn Dr. G. Berthold, dem Verfasser zahlreicher, die Geschichte der Physik betreffender Monographieen, für seine freundliche Unterstützung bei der Korrektur zu danken. Durch den Umstand, dafs mir die Staatsbibliotheken zu Berlin, Bonn, Leipzig und Bremen, sowie die reichhaltige Privatbibliothek des Genannten zur Verfügung standen, wurde die Abfassung des vorliegenden Bandes erleichtert und es mir ermöglicht, die Darstellung fast überall auf das Studium der Originalarbeiten zu stützen.

Die Verlagsbuchhandlung ist auf meinen oft nicht leicht zu erfüllenden Wunsch, fundamentale Versuche und die Erfindung wichtiger Instrumente betreffende Abbildungen älterer Werke in getreuer Wiedergabe dem Texte einzufügen, bereitwilligst eingegangen. Auch im übrigen dürfte die Ausstattung des Werkes den Beifall aller Leser finden.

Möge der vorliegende Schlufsband eine ebenso wohlwollende Aufnahme finden wie der vorhergehende I. Band und dazu beitragen, dafs die Geschichte der Naturwissenschaften in gleichem Mafse wie die allgemeine Weltgeschichte zum Gemeingut aller Gebildeten werde.

Barmen, November 1898.

**Friedrich Dannemann.**

# Inhalt.

# Zusätze und Berichtigungen.

Seite 118, Zeile 10 von oben mufs es heifsen: Thatsache, die besser mit der Kopernikanischen als mit der Ptolemäischen Weltansicht in Einklang zu bringen war.

Seite 176: In der Seitenüberschrift lies Erfindung statt Entdeckung.

Seite 239: Neben Delalande sind auch die Schreibweisen De La Lande und De Lalande gebräuchlich.

Seite 246 zu Anmerkung [1]): Die Priorität der Erfindung gebührt einem Deutschen, dem Prälaten von Kleist, welcher die Verstärkungsflasche, welche eigentlich den Namen Kleistsche Flasche führen sollte, am 11. Oktober 1745 erfand.

Seite 247, in der Anmerkung [1]) lies Hausen statt Hansen.

Seite 260, 2. Zeile v. u.: statt 1740 lies 1679.

Seite 268, letzte Zeile: lies phytoscopica statt phytoscopia.

Seite 309, Anmerkung [3]) statt Dubois lies Du Bois.

Seite 309, Anmerkung [3]) statt die Hand. lies die Hand?

Seite 312, Anmerkung [1]) statt 1784 lies 1782.

Seite 337, Zusatz zu Anmerkung [2]): Vergl. G. Berthold, Rumford und die mechanische Wärmetheorie. Heidelberg, 1875.

Multi pertransibunt et augebitur scientia. *Bacon.*

# Einleitung.

Die Entwicklung der Wissenschaften hat im allgemeinen mit dem Fortschreiten der Menschheit, wie es sich in dem steigenden Niveau des gesamten Kulturzustandes ausspricht, gleichen Schritt gehalten. Eine Geschichte der Naturwissenschaften wird aus diesem Grunde mit der allgemeinen Geschichte in Beziehung zu setzen sein; nur wenn die letztere den Rahmen abgiebt, wird sich ein volles Verständnis für die erstere erzielen lassen. Es erscheint daher naturgemäfs, für die Geschichte der Wissenschaften eine den bekannten Perioden der Weltgeschichte entsprechende Gliederung einzuhalten.

Wie uns im Altertum zugleich mit den Anfängen der Staatenbildung die ersten Keime aller Kultur und Gesittung entgegentreten, so gilt etwas ähnliches auch bezüglich der Naturwissenschaften. Auch auf diesem Gebiete finden wir während der genannten Periode überall Ansätze und unvollkommene Lösungen der in Angriff genommenen Probleme.

Nachdem sich die ersten Regungen des mathematischen Denkens gezeigt, wurden die Fragen nach Gestalt und Gröfse der Erde, sowie ihrer Beziehung zu den übrigen Weltkörpern aufgeworfen und in solchem Umfange der Lösung entgegengeführt, dafs damit die Grundlage für jede weitere geographische und astronomische Erkenntnis geschaffen war. Unter den physikalischen Leistungen der Alten nehmen die bewunderungswürdigen Arbeiten des Archimedes, des Schöpfers der Mechanik, die erste Stelle ein. Ferner werden wichtige Probleme der Optik und Akustik in Angriff

genommen. Bei Aristoteles begegnet uns sogar die Ansicht, dafs das Licht wie der Schall auf die Bewegung eines zwischen dem empfindenden Auge und dem leuchtenden Körper befindlichen Mediums zurückzuführen sei. In einer späteren Zeit stellt man Versuche über die Wirkung durch Wärme erzeugter Dämpfe an. Selbst die Grunderscheinungen des Magnetismus und der Reibungselektricität werden beobachtet und zu erklären gesucht. Auch die Wurzeln der chemischen Wissenschaft haben wir im Altertum zu suchen. Sowohl durch zufällige Beobachtung als durch zweckbewufste Ausübung mancher Gewerbe, insbesondere der hüttenmännischen Betriebe, wurde man mit einer Menge stofflicher Veränderungen bekannt. Gegen das Ende des Altertums taucht dann das Problem der Metallveredelung auf. Wenn sich letzteres auch nach tausendjährigem vergeblichem Mühen als ein Trugbild erwies, so war es doch für die Entwicklung der Wissenschaft von gröfster Bedeutung, da es zu fortgesetzter Beschäftigung mit chemischen Dingen angeregt und auf solche Weise zahlreiche wichtige Entdeckungen herbeigeführt hat.

Lange bevor die physikalischen und chemischen Erscheinungen zur Bildung von Begriffen führten, wird sich das Interesse des Menschen den Einzeldingen zugewandt haben, welche als Tiere, Pflanzen, Mineralien und Gesteine die umgebende Natur in ihrer reichen Mannigfaltigkeit zusammensetzen. Von den zahllosen daraus entspringenden Beobachtungen gelangte schon das Altertum zu einer systematischen Zusammenfassung, sodafs die Anfänge der Naturbeschreibung gleichfalls in diesem Zeitalter zu suchen sind, welches somit die Fundamente sämtlicher Hauptzweige der Naturwissenschaften errichtet hat. Unsere Aufgabe wird es sein, dies zunächst im einzelnen nachzuweisen, um dann in späteren Abschnitten das weitere Schicksal der von den Alten aufgeworfenen, von ihnen jedoch nur teilweise oder unvollkommen gelösten Probleme zu verfolgen.

Charakteristisch ist für das Altertum, dafs man selten auf dem mühsamen Wege der experimentellen Forschung die Bewältigung der gestellten Aufgaben versuchte, sondern wie Bacon[1]) sich ausdrückt, in der Regel „von den Sinnen und dem Einzelnen gleich zu den allgemeinsten Sätzen hinaufflog". Dies Verhalten wird daraus erklärlich, dafs die ersten Regungen des Kausalitätstriebes sich mit einem allzu ungestümen Drange geltend machten,

[1]) Bd. I. d. Grdr. S. 50.

wie es ja auch in dem Entwicklungsgange des einzelnen Menschengeistes der Fall zu sein pflegt. Wer eine Lösung auf die Frage nach dem Grunde alles Seins und Geschehens bot, wurde gefeiert und genofs in einem Zeitalter, in welchem der kritische Geist noch schlummerte, Ansehen und Autorität. So entstand die Philosophie eines Thales und der Pythagoräer. Auf demselben Grunde erhob sich später das Lehrgebäude des Aristoteles, welches seine herrschende Stellung bis über das Mittelalter hinaus behauptete.

Erst im Beginn der neueren Zeit, als die Kritik die Axt an alles Überlieferte legte, gelangte man zu der Erkenntnis, dafs die betretene Bahn nicht zum Ziele führe. Nun erst versuchte man es mit dem zweiten mühevollen Wege, der „von dem Sinnlichen und Einzelnen ausgehend, allmählich in die Höhe steigt und erst zuletzt zum Allgemeinsten gelangen läfst[1]“. Aber auch hierin weist das Altertum genug der Ansätze auf. Archimedes hatte auf Grund von Experiment und mathematischer Entwicklung die Fundamente der Mechanik geschaffen und Ptolemäos ganz nach Art des modernen Physikers das Problem der Brechung in Angriff genommen. Vor allem aber hatten an die Erscheinung des Sternenhimmels anknüpfende Philosopheme sowie die Zeitbestimmung fortgesetzte astronomische Beobachtung erfordert. Hier fand man in bestimmter Wiederkehr verlaufende Erscheinungen, und es ist natürlich, dafs man hier zuerst auch solche messend zu verfolgen strebte. Beobachten und Messen bilden aber das wichtigste Erfordernis des induktiven Verfahrens.

Der Mifserfolg auf dem trotz dieser Ausnahmen vorwiegend beschrittenen Wege zwang endlich, entweder auf alles tiefere Erkennen zu verzichten oder es mit dem mühevollen Verknüpfen von Beobachtung, Experiment und mathematischer Deduktion zu versuchen. Als Probe auf die Richtigkeit dieser zunächst nur von wenigen hervorragenden Geistern geübten Methode stellte sich alsbald der glänzendste Erfolg ein. So kam es, dafs man mehr und mehr in das neue Fahrwasser einlenkte, bis dieses schliefslich zu der breiten Bahn wurde, auf der die Menschheit während weniger Jahrhunderte zur Herrschaft über die Natur gelangt ist.

Das erste Stadium in der Entwicklung der Naturwissenschaften reicht bis zum Aufhören der alten Kulturwelt. Ähnlich wie in

---

1) Bacon a. a. O.

der Geschichte der Untergang des weströmischen Reiches in den Stürmen der Völkerwanderung eine Marke bildet, bezeichnet dort die Zerstörung der alexandrinischen Bibliothek das Ende einer Periode. Zwar sind beide Ereignisse durch einen Zeitraum von 150 Jahren getrennt, doch stimmen sie auch darin überein, dafs in beiden Fällen das Alte dem Hereinbrechen plötzlich auftauchender, roher aber bildungsfähiger Elemente erliegt, um dennoch wieder durch die tiefgehende Rückwirkung, die es äufsert, zu neuem Leben zu erwecken.

Eine lange Zeit verstrich indes, bis das Feld, auf dem die alte Kultur untergegangen, neue Triebe hervorbrachte. Auch der Keim, den das Altertum auf dem Gebiete der Naturwissenschaften gepflegt, erwachte erst am Ende jener Zeit des Überganges, welche die Geschichte als das Mittelalter bezeichnet. Wie die letztere in der Entdeckung der neuen Welt den Wendepunkt erblickt, so wollen wir als ein Ereignis von hervorragender Bedeutung die Begründung des heliocentrischen Weltsystems an die Spitze des neuen Zeitraums stellen. Wurde Europa durch die That des Columbus, so wurde die gesamte Erde durch die Geistesthat des Kopernikus der bisherigen centralen Stellung enthoben. Europa war zu einem kleinen Erdteil, die Erde, bis dahin in der Vorstellung der Menschen der Mittelpunkt der Welt, zu einem Stern gleich vielen anderen geworden.

Auf die Zeit des Wiederauflebens, in der auf allen Gebieten an das von den Alten Geschaffene angeknüpft wurde, folgt dann die Glanzperiode in der Entwicklung der Naturwissenschaften, indem das neuere Zeitalter unter der Führung eines Galilei, Keppler, Newton und Huygens seine eigenen Bahnen zu wandeln beginnt. Während das 18. Jahrhundert vorwiegend mit der Vollendung des von diesen Männern errichteten Lehrgebäudes beschäftigt ist, fällt mit dem tief greifenden Ereignis der französischen Revolution zeitlich und bis zu einem gewissen Grade auch ursächlich der Beginn der letzten Epoche in der Geschichte der Naturwissenschaften, zusammen. Ist doch der gewaltige Fortschritt, den unser Jahrhundert auf diesem Gebiete erlebte, nicht zum geringsten durch die staatliche und bürgerliche Entwicklung der Kulturvölker Europas bedingt, für welche die französische Revolution das Signal gewesen ist. Zugleich mit der Idee des modernen Staatsbürgertums wurde der Welt in der galvanischen Elektricität eine neue Kraft geschenkt.

Vorstehenden Ausführungen gemäfs wollen wir die Geschichte der Naturwissenschaften in folgende vier Perioden einteilen:

I. Das Altertum; bis zur Zerstörung der alexandrinischen Bibliothek im Jahre 642 n. Chr.

II. Das Mittelalter; vom Jahre 642 n. Chr. bis zur Aufstellung des Kopernikanischen Systems.

III. Die neuere Zeit; von der Aufstellung des Kopernikanischen Systems bis zur Begründung der modernen Chemie und der Erfindung der galvanischen Kette.

IV. Die neueste Zeit.

# I. Das Altertum.

Dem ersten naturwissenschaftlichen Lehrgebäude, welches in der Blüteperiode des griechischen Geisteslebens durch Aristoteles errichtet wurde, gingen ungemessene Zeiträume voraus, in denen die einfachsten Beobachtungen, die Grundlagen aller Wissenschaft, teils zufällig, teils auch schon mit bestimmter Absicht angestellt, selten aber gesichtet und aufgezeichnet wurden. Aus dieser Periode stammende Dokumente sind deshalb höchst spärlich, sodafs sich die Wurzeln der Naturwissenschaften, wie so mancher anderer Bethätigungen des menschlichen Geistes im Dunkel vorgeschichtlicher Zeiten verlieren. Soviel ist jedoch gewifs, dafs wir diese Wurzeln nicht in Griechenland zu suchen haben, wo uns die ersten wissenschaftlichen Systeme entgegen treten. In den Niederungen des Nils und des Euphrats, den ältesten Stätten der Kultur, haben sich auch die ersten Kenntnisse entwickelt, welche sich über die Resultate der oberflächlichen Betrachtung und naiven Anschauung erhoben. Durch die Berührung mit den in Ägypten und Vorderasien enstandenen Elementen entzündete sich alsdann der prometheische Funke, welcher in den Griechen schlummerte. Ihnen gelang es, diese Elemente nicht nur in sich aufzunehmen, sondern sie durch eigenes Forschen zu vervielfältigen und den Baum der Erkenntnis zu pflanzen, welcher nach einer langen Zeit der Dürre zu dem gewaltigen Stamme erwuchs, von dem die Segnungen der heutigen Kultur in erster Linie ausgegangen sind.

Die Entwicklung der Naturwissenschaften ist seit der frühesten Zeit mit dem Fortschreiten des mathematischen Denkens Hand in Hand gegangen. Auch in dieser Hinsicht sind die ersten Regungen auf die Ägypter und Chaldäer zurückzuführen. Nach einer Erzählung Herodots[1]) entsprang für die Ägypter die Notwendigkeit, die Geometrie zu erfinden, aus dem Umstande, dafs die Grenzen ihrer Ländereien durch die jährlichen Überschwemmungen des Nils verwischt wurden und deshalb durch Vermessung wiederhergestellt werden mufsten. Welche Bewandtnis es auch mit diesem Bericht des griechischen Geschichtsschreibers haben mag, jedenfalls wird die Geometrie der frühesten Kulturvölker aus der Bedürfnissen der Praxis hervorgegangen sein. Für das ehrwürdige Alter der Mathematik in Ägypten spricht auch das von dort stammende älteste Dokument dieser Wissenschaft[2]). Es ist dies eine Art Handbuch für den praktischen Gebrauch, welches um das Jahr 2000 v. Chr. verfafst wurde und neben zahlreichen arithmetischen Aufgaben, bei denen schon die Bruchrechnung Anwendung findet, auch die erste Behandlung arithmetischer und geometrischer Reihen, Flächenberechnungen der einfacheren Figuren, wie sie für die Absteckung der Felder in Betracht kommen, sowie die Bestimmung des Rauminhalts von Fruchtspeichern enthält. Sogar die Quadratur des Kreises findet sich in diesem Papyrus. Letztere wird in der Weise bewerkstelligt, dafs man über dem um $^1/_9$ verminderten Durchmesser ein Quadrat errichtet. Daraus würde sichfür $\pi$ der Wert 3,160 (statt 3,141) ergeben. Wie der Verfasser zu seinem Resultat gelangte, ist indessen nicht ersichtlich.

Die in Vorderasien und Unterägypten entstandenen Rudimente wurden von den Phöniziern aufgenommen, welche sie, als das wichtigste Handelsvolk der alten Welt, den übrigen Anwohnern des Mittelmeeres überbrachten. Bei den Griechen fielen diese aus dem Orient stammenden Keime auf einen fruchtbaren Boden. Die Phönizier brachten ersteren auch als das wichtigste Mittel für jede weitere Entfaltung wissenschaftlicher Thätigkeit die Buchstaben-

[1]) Herodot II, 109.

[2]) Der Papyrus Rhind des Britischen Museums in London, welchen der Schreiber Ahmes des Hyksoskönigs Ra-a-us verfafste. Die Entstehung dieser Schrift fällt zwischen 1700 und 2000 v. Chr. Das Dokument wurde übersetzt und erläutert herausgegeben von Eisenlohr, Leipzig 1877. Eine eingehende Besprechung seines Inhalts findet sich in M. Cantors Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, Leipzig 1880. Bd. I, S. 19—52.

schrift, welche sich aus den, Silben und ganze Wörter bezeichnenden, Hieroglyphen entwickelt hatte.

Sobald die Griechen aus dem Dunkel der Sage in das Licht der Geschichte treten, begegnet uns bei ihnen das Bestreben, die Erscheinungswelt nicht blofs betrachtend in sich aufzunehmen, sondern sie auch in ihrem ursächlichen Zusammenhange zu begreifen. Dies geschieht einmal dadurch, dafs sie die Anfänge der mathematischen Erkenntnis auf die Naturvorgänge anzuwenden suchen, zum andern aber auch, indem sie, weit über jedes verständige Ziel hinausschreitend, sofort den letzten Grund alles Geschehens zu begreifen trachten. Es ist bezeichnend, dafs diese ersten Regungen des wissenschaftlichen Denkens nicht im eigentlichen Hellas, sondern in den ionischen Kolonien auftraten, welche zwischen den älteren Sitzen der Kultur und dem jungfräulichen Boden Griechenlands eine vermittelnde Stellung einnahmen, und schon einige Jahrhunderte vorher ihre Blütezeit auf dem Gebiete der Dichtkunst erlebt hatten.

Als den ersten Griechen, der in den beiden soeben gekennzeichneten Richtungen zu wirken suchte, nennt uns die Geschichte den Thales von Milet. Obgleich von Thales herrührende Werke nicht auf uns gekommen sind, und derselbe seine Lehren wahrscheinlich auch nur mündlich überliefert hat, sind uns doch letztere, sowie seine Entdeckungen und sein Lebensgang durch die Aufzeichnungen alter Schriftsteller hinlänglich bekannt geworden, um uns ein ungefähres Bild von diesem Manne zu verschaffen.

Thales wurde um 640 v. Chr. geboren, wirkte also zu der Zeit, als der athenische Staat durch Solon erst die Grundlage seiner Verfassung erhielt. Darin, dafs er in Ägypten gewesen und dort mit der Priesterkaste, damals der Hüterin aller mathematischen und astronomischen Kenntnisse, in Berührung getreten sei, stimmen alle Berichte überein. „Thales, der nach Ägypten ging“, so wird uns erzählt, „brachte zuerst die Geometrie nach Hellas. Vieles entdeckte er selbst, von vielem aber überlieferte er die Anfänge seinen Nachfolgern[1].“ An anderer Stelle heifst es von ihm: „Er beobachtete den Himmel, musterte die Sterne und sagte öffentlich allen Miletern vorher, dafs am Tage Nacht eintreten, die Sonne sich verbergen und der Mond sich davor legen werde“[2]).

---

1) Cantor, Geschichte der Mathematik. Leipzig 1880. I. S. 113.
2) A. a. O. S. 114.



Diese Vorausbestimmung einer Sonnenfinsternis ist jedoch nicht etwa eine solche im heutigen Sinne; sie erfolgte nämlich nicht durch Rechnung, sondern beruht ausschliefslich auf der Beobachtung derjenigen Periode, innerhalb welcher die Finsternisse regelmäfsig wiederkehren. Jene Periode war den Babyloniern nicht entgangen. Letztere waren im Besitz von Aufzeichnungen, welche sich über Jahrhunderte erstreckten und einen Zeitraum von 6585 Tagen bezüglich der regelmäfsigen Wiederkehr der Finsternisse erkennen liefsen. Wie unentwickelt im übrigen die astronomischen Vorstellungen des Thales noch waren, geht daraus hervor, dafs nach seiner Lehre die Erde eine vom Okeanos umflossene Scheibe ist, über welche sich der Himmel wie eine Krystallglocke wölbt. Unter solchen Umständen konnte noch nicht einmal von einer Kreisbewegung der Gestirne die Rede sein. In Übereinstimmung mit dieser Lehre nahm denn auch Thales an, die Sterne sänken bei ihrem Untergang in den Ocean und schwömmen in diesem am Rande der Scheibe entlang zu ihren Aufgangspunkten zurück.

Auf Thales werden ferner von den Griechen, welche über die Mathematik geschrieben haben, einige der wichtigsten geometrischen Sätze zurückgeführt: so der Satz, dafs die Winkel an der Basis eines gleichschenkligen Dreiecks gleich sind, sowie dafs ein Dreieck durch eine Seite und die anliegenden Winkel bestimmt ist, ein Satz, mit dessen Hülfe z. B. die Entfernung der Schiffe vom Lande ermittelt wurde. Bezüglich der geometrischen Kenntnisse des Thales läfst sich jedoch nicht mehr entscheiden, wieviel Eigenes und wieviel von den Ägyptern Entlehntes darunter ist. Eine bekannte Anwendung derselben ist seine Schattenmessung. Es ist dies ein Verfahren, die Höhe hervorragender Gegenstände zu bestimmen, durch welches er die Bewunderung seiner Zeitgenossen erregt haben soll. Dasselbe bestand darin[1]), dafs er zu der Zeit, wenn der Schatten gleich der Höhe der Körper ist, was er an einem Stock ermittelte, den Schatten des betreffenden Gegenstandes, z. B. einer Pyramide, mafs, womit auch sofort die Höhe desselben gefunden war. Mit dem Gnomon, einem Werkzeug, das zur Bestimmung des Mittags aus der Schattenlänge diente, sollen die Griechen durch Anaximander, den bedeutendsten Schüler des Thales, bekannt geworden sein. Die Beschäftigung mit natürlichen Dingen, zu welcher Thales bei den Ioniern allen Nachrichten

[1]) Nach Plutarch, Vol. 2, III pag. 174, ed. Didot, sowie nach Plinius XXXVI, 12.

zufolge den Anstofs gab — nennt ihn doch Aristoteles den „Beginner" der philosophischen Naturforschung[1]), — rief nun auch ein Suchen nach einer ursächlichen Erklärung der gesamten Erscheinungswelt hervor. Eine derartige auf den letzten Gründen fufsende Erklärung ist seitdem das Ziel der Philosophie gewesen, ohne dafs dieselbe, wie es in der Natur der Sache liegt, jemals zu einer befriedigenden Lösung eines so weit gespannten Problems gelangt wäre. Thales und seinen Nachfolgern, die sich über den Begriff des Stofflichen kaum zu erheben vermochten, genügte schon die Annahme, dafs alle Erscheinungsformen auf eine einzige Urmaterie zurückzuführen seien. Als solche dünkte dem Thales nichts geeigneter als das Wasser, weil es ihm, nach seinen Eigenschaften zu urteilen, zwischen der Erde und der Luft zu stehen schien. Eine Stütze fand diese Lehre in gewissen Beobachtungen. Wurde doch z. B. der Boden Ägyptens, aus welchem Lande viele Anschauungen des Thales stammen, als ein Produkt des Niles angesehen. Entwickelten sich nicht ferner aus der feuchten Erde die Pflanzen? Selbst als man in späteren Perioden genauer beobachten lernte, hat diese Lehre immer wieder Anhänger gefunden. Van Helmont, ein hervorragender Forscher des 17. Jahrhunderts, war noch in ihr befangen. Erst Lavoisier und Scheele, welche an der Schwelle der neuesten Zeit stehen, vermochten den Glauben an die Umwandlung des Wassers in Erde, der stets wieder auf mangelhafte Beobachtungen gestützt wurde, durch einwandfreie Versuche endgültig zu widerlegen.

Das Streben nach einer Erklärung der Welt hat seit der Zeit des Thales nicht aufgehört, die hervorragendsten Geister zu beschäftigen. Hier ist dasselbe nur insofern von Belang, als die Ergebnisse des philosophischen Denkens einen Einflufs auf den weiteren Fortgang der Naturwissenschaft ausgeübt haben. Letztere steckte sich alsbald das bescheidenere, aber erreichbare Ziel, einen Einblick in den gesetzmäfsigen Zusammenhang der Erscheinungen zu erlangen. In dem Mafse, wie man dieses Ziel ins Auge fafste, hat sich die Beseitigung phantastischer Auswüchse vollzogen, wie sie in der Alchemie und Astrologie z. B. zum Ausdruck kamen, und in demselben Mafse näherte sich die Wissenschaft ihrer jetzigen Gestalt.

Hat die philosophische Spekulation auch keine ähnlichen Resultate aufzuweisen, wie wir sie den exakten Wissenschaften verdanken, so gebührt ihr doch unleugbar das Verdienst, die empirische Forschung

1) Aristoteles, Metaphysika I, 3. 7.



ununterbrochen angeregt zu haben. Die philosophischen Ansichten, welche das griechische Altertum entwickelte, bildeten selbst in späteren Zeiten oft den Leitstern für naturwissenschaftliches Forschen. So hat sich das Bestreben, die Mannigfaltigkeit der Stoffe auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen, bis in die neueste Zeit hinein fortgesetzt. Zunächst wurde von den ionischen Philosophen eine der bekannten Materien, wie die Luft[1]) oder das Wasser, zu einem solchen gestempelt. Später fafste Aristoteles Luft, Wasser, Erde und Feuer als die verschiedenen Erscheinungsformen eines und desselben Urprinzips auf. Infolgedessen hielt man eine Verwandlung der bekannten Stoffe in einander für möglich. Und so war es besonders die aristotelische Philosophie, auf welche sich im Mittelalter das Bemühen, unedle Metalle in edle überzuführen, stützen konnte.

Hatte man zuerst die Stoffumwandlungen, denen man auf Schritt und Tritt begegnete, als ein Entstehen und Vergehen aufgefafst, so waren es Philosophen, welche lehrten, dafs alle Veränderungen auf ein Mischen und Entmischen zurückzuführen seien, und dafs dabei die Materie weder sich bilde noch vernichtet werde. Dem philosophischen Denken entsprang ferner die Vorstellung, dafs der Stoff aus kleinsten Teilchen bestehe, durch deren Umlagerung jenes Mischen und Entmischen bedingt sei — beides Grundsätze, deren sich die Naturforschung bemächtigte, um sie als Leitsterne bei ihrem auf die denkende Erfassung des Erfahrungsmaterials gerichteten Bemühungen zu verwerten. Wir werden sehen, wie die Lehre von der atomistischen Zusammensetzung der Welt später durch Dalton wieder ins Leben gerufen und die Mechanik der Atome allen Naturerscheinungen zu Grunde gelegt wurde.

Eine weitere That der alten Philosophie bestand in der Aufstellung und konsequenten Durchführung des Zweckbegriffs durch Anaxagoras, dessen Lehre in den platonischen Ideen ihre Fortsetzung fand. Erwies sich der Begriff der Zweckmäfsigkeit in den späteren Entwicklungsstadien der Wissenschaft auch als unzureichend, so war er doch für die Naturforschung des Altertums von Bedeutung und bei dem Ausbau des das Wissen jener Zeit umfassenden aristotelischen Lehrgebäudes das eigentlich Treibende.

In gleichem Mafse, wie die ersten philosophischen Bestrebungen anregend auf die Forschung gewirkt haben, war dies auch hin-

[1]) Durch Anaximenes.



sichtlich der Mathematik der Fall. Zu der Erkenntnis, dafs nur durch Vereinigung der mathematischen mit der experimentellen Behandlung Aussicht auf eine Lösung der naturwissenschaftlichen Probleme vorhanden sei, sollte jedoch erst die neuere Zeit gelangen. Es ist ein wesentlicher Mangel der Alten, welche die Mathematik wohl zu handhaben wufsten, dafs sie sich nicht in gleichem Mafse für die Ausübung des Experiments befähigt zeigten. Mannigfache Gründe sind hierfür ins Feld geführt worden. Einer der gewichtigsten bestand wohl in dem Überschätzen der reinen Geistesthätigkeit jeder Beschäftigung mit materiellen Dingen gegenüber. Auch der Umstand, dafs die Ausübung industriellen und gewerblichen Schaffens eines freien Mannes unwürdig galt und in die Hand der Sklaven gelegt wurde, war dem Entstehen der experimentellen Forschungsweise in hohem Grade hinderlich.

Wenn wir die Entwicklung der Mathematik, welche hier gleich den Ergebnissen der Philosophie nur soweit in Betracht gezogen werden kann, als sie die Naturwissenschaften unmittelbar beeinflufst hat, nach ihren ersten, an ägyptische und babylonische Elemente anknüpfenden Schritten weiter verfolgen, so richtet sich unser Blick von Jonien nach einem anderen Hauptsitz hellenischer Bildung, nämlich nach Grofsgriechenland. Hatte man den Wert mathematischer Betrachtung in Ionien überhaupt erst schätzen gelernt, so finden wir hier bei Pythagoras und seinen Anhängern eine beträchtliche Überschätzung derselben. Wichtig ist indes vor allem, dafs auch im übrigen Griechenland Männer auftraten, die in der denkenden Betrachtung der Welt ihre Lebensaufgabe erblickten. Als erster derselben wird uns Pythagoras genannt. Da indes von seinem Leben fast nichts verlautet und auch keine von ihm herrührende Schrift auf uns gekommen ist, so tritt uns in Pythagoras wie in Thales eine sagenumwobene Gestalt entgegen.

Pythagoras wurde um das Jahr 550 v. Chr. in Samos geboren. Über die Gründung seiner Schule gehen die Nachrichten sehr auseinander, doch läfst sich annehmen, dafs er sich vorher gleich Thales in Ägypten, vielleicht auch in Babylon[1]) aufgehalten. Auch in diesem Falle würde es sich also um eine Verpflanzung ägyptischer Weisheit auf den einer weiteren Entwickelung derselben günstigen Boden Grofsgriechenlands gehandelt haben.

Pythagoras und seine Schüler gingen mehr vorahnend als in wirklicher Erkenntnis von der Voraussetzung aus, dafs eine durch

---

1) Cantor, Geschichte der Mathematik, 1880. Bd. I. 128 u. 158.

Mafs und Zahl bestimmte Gesetzmäfsigkeit alles natürliche Geschehen beherrsche. In einseitiger Übertreibung dieses Grundgedankens erblickten sie dann in den Zahlen den ursächlichen Grund der Erscheinungswelt.

Den Pythagoräern verdankten die Griechen — wobei sich indes nicht unterscheiden läfst, was selbst gefunden und was an fremden Elementen aufgenommen wurde — die Sätze über die Winkelsumme im Dreieck, über die Kongruenz der Dreiecke, den sogenannten pythagoreischen Lehrsatz, sowie die Kenntnis des goldenen Schnitts; ferner die ersten Kenntnisse der Stereometrie, insbesondere der fünf regelmäfsigen Körper und der Kugel. Ebenso wurde in der Arithmetik eine Grundlage geschaffen, welche den raschen Aufschwung, den die Mathematik darauf in Griechenland erfuhr, ermöglichte. Einige Jahrhunderte unausgesetzter Pflege dieser Wissenschaft, mit der sich auch die hervorragendsten unter den Philosophen, wie Plato und Aristoteles, beschäftigten, genügten nämlich, um in den Werken des Apollonios und des Archimedes Leistungen heranreifen zu lassen, welche noch heute Bewunderung erregen. Zumal in der Hand des letzteren wurde die Mathematik zu einem Werkzeug, mit welchem die Bewältigung physikalischer Aufgaben gelang.

Nachdem wir der frühesten Regungen des philosophischen und des mathematischen Denkens Erwähnung gethan, wenden wir uns den ersten naturwissenschaftlichen Problemen zu, an denen sich das letztere erproben sollte. Die am Himmel sich abspielenden Vorgänge waren es, welche zuerst den Begriff einer von Gesetz und Regel beherrschten Erscheinung aufkommen liefsen. Es ist daher kein Zufall, dafs man sich diesen Vorgängen vor allen anderen mit forschendem Blicke zuwandte, und dafs die Astronomie neben der Mathematik zu den ersten Bethätigungen des menschlichen Geistes gehört, welche Anspruch auf den Namen einer Wissenschaft erheben können. Aber auch auf diesem Gebiete sind die Griechen nicht die Urheber, sondern in hohem Mafse von den seitens der Babylonier und Ägypter geschaffenen Elementen abhängig gewesen. Die frühesten astronomischen Eindrücke, denen sich der Mensch selbst auf der tiefsten Stufe seiner Entwicklung nicht entzogen haben kann, sind die scheinbare tägliche Bewegung der Gestirne, die in periodischem Wechsel sich wiederholenden Phasen des Mondes, sowie die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne mit dem dadurch bedingten Kreislauf der Jahreszeiten. Einer etwas aufmerksameren Beobachtung konnte es dann nicht

entgehen, dafs die Mehrzahl der Sterne ihre Stellung zu einander nicht verändert, während die Sonne, der Mond und die bald in die Augen fallenden Wandelsterne an dem Fixsternhimmel vorüberziehen. Betreffs des Tagesgestirns machte sich diese Erscheinung darin bemerklich, dafs hervorragende Sterne bald in der Nähe der untergehenden Sonne gesehen wurden, dann in den Strahlen derselben verschwanden, um nach kurzer Zeit vor der aufgehenden Sonne zu erscheinen und schliefslich wieder in der Nacht zu glänzen. Auch eine Einteilung des Fixsternhimmels in Sternbilder hat frühzeitig stattgefunden. So gelangte man zu der Erkenntnis, dafs die Sonne im Laufe einer Periode, welche sich mit demjenigen Zeitraum deckt, innerhalb dessen sich die Jahreszeiten abspielen, ihren Umlauf am Himmel vollendet. Diejenigen Sternbilder, durch welche sich das Tagesgestirn dabei hindurchbewegt, nannte man den Tierkreis. Eine Darstellung desselben wurde im Anfange unseres Jahrhunderts in Denderah (Oberägypten) im Vorhof eines Tempels aufgefunden und nach Paris gebracht.

Die Dauer eines Umlaufs der Sonne wurde in Ägypten anfangs zu 360, später jedoch zu 365 Tagen gerechnet. Aber auch bei dieser letzteren Annahme bemerkte man nach längerer Zeit, dafs das Jahr zu kurz bemessen wurde, und infolgedessen eine Verschiebung der Feste eintrat. Diese Beobachtung führte dann zu einer 238 v. Chr. in Kraft tretenden Anordnung[1]), nach welcher jedes vierte Jahr zu 366 Tagen angenommen werden sollte, „damit es nicht vorkomme, dafs einige der öffentlichen Feste, welche man im Winter feiert, einstens im Sommer gefeiert werden“.

Die Ägypter sind also dasjenige Volk, denen wir die Einrichtung des Schaltjahres zu verdanken haben; und es ist sehr wahrscheinlich, dafs die astronomischen Ratgeber, welche Julius Cäsar bei seiner Kalenderverbesserung vom Jahre 46 v. Chr. zu Rate zog, um die in Ägypten allerdings wieder in Vergessenheit gekommene Einrichtung gewufst haben. Dieser Umstand schmälert jedoch keineswegs das Verdienst Cäsars; ihm verdankt der Occident die dauernde Feststellung der Zeitrechnung, welche so sehr in Unordnung geraten war, dafs im Jahre 46 v. Chr. nicht weniger als 85 fehlende Tage eingeschaltet werden mufsten.

Noch älter als die auf dem scheinbaren Lauf der Sonne beruhende Zeitrechnung ist die andere, welcher die Bewegung des

[1]) R. Lepsius, das bilingue Dekret von Kanopus. Berlin 1866. Die betreffende Inschrift wurde von Lepsius im Jahre 1866 in Unterägypten gefunden.



Mondes zu Grunde gelegt wird. Man sah dieses Gestirn in rascher Folge einen Wechsel von Lichtgestalten durchlaufen und gelangte so zur Aufstellung des synodischen Monats, dessen Dauer 29 Tage, 12 Stunden und 44 Minuten beträgt. Es ist nun sehr wahrscheinlich, dafs der erste Versuch, die Rechnung nach Mond und Sonne zu vereinigen, zur Festsetzung eines Zeitraums von 12 Monaten à 30 Tage führte. Ein solcher Kalender konnte den Bedürfnissen, da er dem thatsächlichen Verlauf der himmlischen Bewegungen zu wenig entsprach, jedoch nicht lange genügen. Der nächste Schritt bestand deshalb darin, dafs man den Monat abwechselnd zu 29 und 30 Tagen rechnete. Dadurch wurde das Jahr aber auf 354 Tage verkürzt. Mit diesem Abschnitt rechneten die Griechen, bis Solon den bedeutenden Ausfall, welchen man erlitten hatte, dadurch ausglich, dafs er jedem zweiten Jahre einen vollen Monat von 30 Tagen zulegte. Auf das Jahr kamen somit im Mittel $\frac{2 \cdot 354 + 30}{2} = 369$ Tage, was immer noch eine starke Abweichung von der wirklichen Dauer bedeutete. Die Verwirrung, in welche der Kalender der Griechen schliefslich geraten war, hat ihr grofser Lustspieldichter Aristophanes[1]) dadurch verspottet, dafs er den Mond über einen solch unhaltbaren Zustand sich beschweren liefs. Dem athenischen Mathematiker Meton gelang endlich die Beseitigung dieses Wirrsals. Derselbe führte 433 v. Chr. einen Cyklus ein, welcher 19 Jahre und innerhalb dieses Zeitraums 125 volle und 110 leere Monate umfafste, sodafs das Jahr $= \frac{125 \cdot 30 + 110 \cdot 29}{19} = 365{,}263$ Tage enthielt, während der wahre Wert des tropischen Jahres sich auf 365,242 Tage beläuft.

Während die Entdeckung der gröfseren Planeten aus der Veränderung ihrer Stellung zu den Fixsternen auf den ersten Blick erfolgen mufste, setzte die Auffindung des Merkur, welcher sich um höchstens 27 Grade von der Sonne entfernt, und daher in höheren Breiten nur in der Dämmerung mit guten Augen wahrzunehmen ist, schon eine gröfsere Aufmerksamkeit voraus. Eine systematisch geordnete Reihe von Beobachtungen gehörte aber dazu, die Zeiten festzustellen, innerhalb welcher die Planeten zu demselben Sternbilde zurückkehren. So gelangte man zu der Erkenntnis, dafs Mars in 2, Jupiter in 12, Saturn dagegen erst in 30 Jahren ihren Weg am Fixsternhimmel vollenden.

---

[1]) Aristophanes, Wolken 615—619.

Gröfsere Schwierigkeiten boten die innerhalb der Erdbahn befindlichen Planeten Merkur und Venus dar. Da sie jedoch stets in der Nähe der Sonne erscheinen, so mufsten sie der geocentrischen Vorstellung gemäfs etwa dieselbe Umlaufszeit wie dieses Gestirn besitzen. Als Grund dieser sämtlichen Unterschiede nahm man dann einen verschieden grofsen Abstand der Himmelskörper von der im Mittelpunkte ruhend gedachten Erde an. Saturn, dessen Umlauf die längste Zeit erfordert, mufste dementsprechend auch am weitesten von der Erde entfernt sein, während der Mond, welcher zwölfmal in einem Jahre seinen Cyklus vollendet, als der dem Mittelpunkte am nächsten befindliche Himmelskörper galt. Aristoteles gelangt daher zu dieser Reihenfolge: Mond, Sonne, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn. Die Pythagoräer und mit ihnen Plato, der häufig in ihre Fufsstapfen trat, legten sich nun auch die Frage nach dem Verhältnis jener Abstände vor. Sie bewegten sich hierbei jedoch auf dem Gebiet der blofsen Zahlenmystik. Da sie bei ihren akustischen Untersuchungen auf einfache Verhältnisse in der Länge harmonisch tönender Saiten gestofsen waren, hielten sie sich für berechtigt, auch am Himmel solche einfachen Verhältnisse ohne weiteres vorauszusetzen. Durch das Obwalten derselben sollte dann, ähnlich wie im Reiche der Töne, eine Konsonanz entstehen. Man dachte sich, jeder Planet rufe als ein in rascher Bewegung befindlicher Körper einen Ton hervor. So nahm Plato an, dafs sich Mond, Sonne, Venus, Merkur, Mars, Jupiter, Saturn in Abständen von der Erde befänden, die sich wie 1:2:3:4:8:9:27 verhielten. Dies verursache die Harmonie der Sphären. Über die Entfernung der Fixsterne dagegen läfst Plato nichts verlauten.

Derartige Spekulationen, so überflüssig sie auch nach der Entdeckung der thatsächlich obwaltenden Verhältnisse erscheinen mögen, sind für die Entwicklung der astronomischen Wissenschaft durchaus nicht ohne Belang gewesen. Sie waren es, die zu Versuchen anregten, die Richtigkeit der angenommenen Werte zu prüfen und wir werden sehen, auf welche Weise in der nächstfolgenden, schon der Messung zugewandten Epoche der griechischen Astronomie die Lösung dieser Aufgabe angestrebt wurde. Zu allen Zeiten hat der Weg der Forschung darin bestanden, dafs auf einer gewissen Stufe der Erkenntnis Hypothesen ersonnen wurden, an welche sich die weiteren Versuche behufs einer Prüfung anschlossen. Auch als später Keppler dasselbe Problem, welches wir jetzt verlassen, wieder aufnahm, trat er mit der vorgefafsten Meinung an das-

selbe heran, dafs, wie so manches in der Natur, auch die Planeten nach einfachen Verhältnissen geordnet seien. So ist das von den Pythagoreern aufgeworfene Problem bis in die neueste Zeit eine der fundamentalen Aufgaben geblieben, welche die Astronomie mit immer gröfserer Genauigkeit zu bewältigen strebt.

Gleichzeitig mit den ersten Beobachtungen und Spekulationen über die Himmelskörper beginnt die Frage nach der Beschaffenheit unseres Wohnsitzes den forschenden Geist zu beschäftigen. Lange dauerte es, bis man sich von dem Eindruck, dafs die Erde eine runde Scheibe sei, losgerungen hatte. Homer und Hesiod waren noch in demselben befangen. Letzterer läfst die Sonne während der Nacht im Ocean nach Kolchis schwimmen, wo sie sich frühmorgens, angekündigt durch die rosenfingrige Eos, wieder erhebt. Der Himmel selbst ist den Alten ein Gewölbe von solcher Höhe, dafs ein Ambos von dort neun Tage und neun Nächte fallen soll, bis er die Erde erreicht.

Dieser naive Standpunkt wird verlassen, sobald der geographische Horizont sich erweitert. Es mufste z. B. auffallen, dafs hervorragende Fixsterne, wie Kanopus, welche in Ägypten in der Nähe des Horizontes gesehen werden, in Griechenland nie über demselben erscheinen. Nachdem schon Anaximander die Kugelgestalt der Erde vermutet hatte[1]), wurde dieselbe von Aristoteles gelehrt und mit Gründen belegt. Aufser dem Verschwinden von Fixsternen unter gleichzeitigem Auftauchen neuer Sterne, eine Erscheinung, welche man bei Ortsveränderungen in der Richtung des Meridians wahrnimmt, führt Aristoteles noch an, dafs der Erdschatten bei Mondfinsternissen dem Auge stets kreisförmig erscheint, was nur unter der Voraussetzung möglich sei, dafs dieser Schatten von einer Kugel herrühre[2]).

Die Überzeugung, dafs die um das Mittelmeer gelegenen Länder nur einen kleinen Teil der Erde ausmachen, hatte schon vor Aristoteles Platz gegriffen. So läfst Plato den Sokrates im Phaedon sagen[3]): „Die Erde ist sehr grofs; wir, die wir von dem Phasis bis zu den Säulen des Herkules wohnen, haben davon nur einen kleinen Teil um das Mittelmeer herum inne, wie Ameisen oder Frösche um einen Sumpf, während andere Menschen viele andere ähnliche Räume bewohnen.“ An anderer Stelle heifst es

---

1) Aristoteles, de coelo, II, 13.
2) l. c. II, 13.
3) Platons Phaedon. cap. 58. Leipzig, Wilhelm Engelmann. 1852.



dort, die Erde schwebe in der reinen Himmelsluft oder dem Äther und sei von ferne betrachtet einem Balle ähnlich.

Bei Plinius finden wir als weiteren Grund für die Krümmung der Erdoberfläche angeführt, dafs auf dem Meere zuerst der Mast und erst später der Rumpf der Schiffe sichtbar wird.

Während zur Zeit der römischen Weltherrschaft die Lehre von der Kugelgestalt der Erde zu einem Gemeingut der Gebildeten geworden war, hat das Altertum nur vereinzelt eine richtige Auffassung der Sonne in ihrem Verhältnis zu den Planeten aufzuweisen. Doch wurden die Keime der heliocentrischen Lehre schon in diesem Zeitalter gebildet, sodafs Kopernikus seine Erklärung unmittelbar an die vereinzelt aus dem Altertum überlieferten Anschauungen anknüpfen konnte.

Vor allem gab es eine Meinung, welche den Ägyptern zugeschrieben wurde und von der Kopernikus nach seinen eigenen Worten durch Martianus Capella sehr wohl wufste, die Lehre nämlich, dafs Merkur und Venus, welche immer in der Nähe der Sonne gesehen werden, um dieses Gestirn kreisen[1]). Von hier aus konnte man leicht zu einer richtigen Auffassung des gesamten Planetensystems gelangen, wenn man die Sonne zum Mittelpunkt auch der Bewegungen der übrigen Planeten machte. Sieht man von den heute schwer sicher zu stellenden Spekulationen der Pythagoräer ab, so war es vor allem Aristarch, der die heliocentrische Weltansicht mit voller Klarheit aussprach. Ihn soll die Überzeugung, dafs die Sonne weit gröfser als die Erde und der Mond sei, zur Aufstellung seines Systems geführt haben Gegen das Ende der ersten, etwa bis Aristoteles reichenden Periode der griechischen Astronomie begann die Spekulation zu überwuchern. Zum Glück traten jedoch bald darauf in der Alexandrinischen Schule und im Zusammenhange mit derselben Männer auf, welche den überkühnen Geistesflug verschmähten und sich mit nüchternem Sinne der Erforschung der Himmelserscheinungen zuwandten. Die Astronomie schreitet jetzt von dem wesentlich beobachtenden und auf Grund mangelhafter Beobachtung philosophierenden Stadium zu dem messenden fort und erhebt sich damit auf die Stufe einer Wissenschaft im strengeren Sinne des Wortes. Als diejenigen, welche zuerst diesen Weg beschritten haben, sind die Alexandriner, Aristill und Timocharis und vor allem der schon erwähte Aristarch von Samos zu nennen. Mit der

1) Siehe Bd. I, S. 22.

Forscherthätigkeit dieser Männer heben zwei Probleme an, welche seitdem den menschlichen Geist beschäftigt haben und mit immer gröfserer Schärfe ihrer Lösung zugeführt worden sind. Es sind dies die Topographie des Fixsternhimmels, d. h. die genaue Bestimmung möglichst vieler Sternörter, und die Ermittlung der Dimensionen der Erde und unseres Planetensystems, zunächst der Entfernung der Sonne und des Mondes.

Die genannten Alexandriner, welche ihre Beobachtungen um das Jahr 300 v. Chr. anstellten, bedienten sich schon der Armillen, d. h. geteilter Kreise, von denen der eine im Äquator lag, während der andere um die Weltachse gedreht werden konnte. Mit Hülfe dieses Apparats bestimmten sie die Lage einzelner Sterne, indem sie nicht nur ihre Deklination oder den Bogenabstand vom Äquator ermittelten, sondern auch den Ort der Sterne auf den Frühlingspunkt bezogen. Der von ihnen herrührende Katalog gab dann 150 Jahre später dem Hipparch die Möglichkeit, die Präcession der Nachtgleichen zu entdecken[1]).

Wenden wir uns jetzt dem Aristarch zu, einem der geistig bedeutendsten Männer seiner Zeit, von dessen Lebensschicksalen indes keine näheren Nachrichten auf uns gelangt sind. Man weifs nur, dafs er um das Jahr 270 v. Chr. in Samos geboren wurde. Das einzige, was von seinen Schriften erhalten blieb, ist eine Abhandlung, welche von der Gröfse und den Entfernungen des Mondes und der Sonne handelt[2]). Die Abstände dieser Weltkörper von der Erde verhalten sich nach Aristarch wie 1 : 19, während das wahre Verhältnis annähernd 1 : 400 ist. Zu seinem Resultat gelangte Aristarch durch folgende Überlegung. Erscheint von einem Punkte E der Erde (siehe Fig. 1) der Mond genau zur Hälfte von der Sonne beleuchtet, so bildet jener Punkt E mit den Mittelpunkten des Mondes und der Sonne ein rechtwinkliges Dreieck, in welchem der Abstand des Mondes eine Kathete und die Entfernung der Sonne die Hypotenuse bildet. Der Winkel bei E mifst nun nach Aristarch 87°, während er in Wahrheit viel weniger von einem Rechten abweicht und sich auf 89° 50′ beläuft. Das gesuchte Verhältnis, welches Aristarch auf mühsame Weise durch die Bestimmung der Grenzwerte 1 : 18 und 1 : 20 ermittelte, ist gleich dem Cosinus des Winkels, unter dem

[1]) Siehe Seite 47 ds. Bd.

[2]) Aristarchos, über die Gröfsen und Entfernungen der Sonne und des Mondes. Übersetzt und erläutert von A. Nokk. Als Beilage zu dem Freiburger Lyceumsprogramm von 1854.

beide Weltkörper in dem angegebenen Falle von der Erde aus gesehen werden.

Der Weg, auf welchem Aristarch sein Problem zu lösen suchte, ist theoretisch genommen zwar einwandsfrei. Dafs sich trotzdem ein Resultat ergab, welches von dem heute gültigen Wert in solch erheblichem Mafse abweicht, ist aus mehreren Umständen zu erklären. Einmal war man zu jener Zeit noch nicht imstande, solch kleine Winkeldifferenzen, um welche es sich hier handelte, zu messen; zum anderen aber besitzt die gesuchte Grenze infolge der Unebenheiten des Mondes sowie seiner Abweichung von der Gestalt einer vollkommenen Kugel keine hinlängliche Schärfe. Immerhin verdiente Aristarch in vollem Mafse die Anerkennung, welche ihm das Altertum dieser Bestimmung wegen zollte. Dafs er auch schon die heliocentrische Theorie $1^1/_2$ Jahrtausende vor

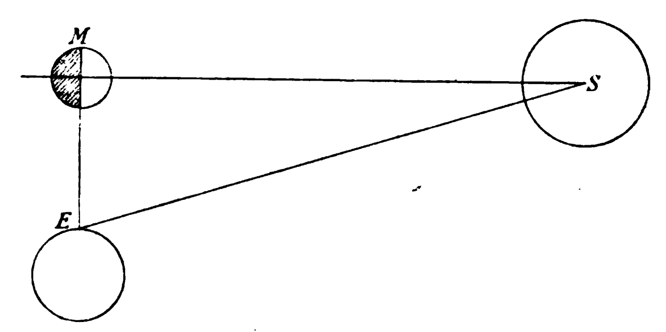



Fig. 1. Aristarchs Verfahren, die Entfernung des Mondes und der Sonne zu bestimmen.

Kopernikus klar aussprach, geht aus einer im I. Bande wiedergegebenen Stelle des Archimedes hervor[1]).

Auch die Volumverhältnisse der Weltkörper berechnete Aristarch; so fand er, dafs der Mond etwa 30 (statt 48) mal so klein, die Sonne dagegen 300 (statt 1300000) mal so grofs wie die Erde sei[2]).

Nachdem man erkannt, dafs die Erde die Gestalt einer Kugel besitzt, lag der Gedanke nahe, die Gröfse dieser Kugel zu bestimmen. Der Ruhm, den richtigen Weg zu einer solch kühnen Messung gewiesen und auf demselben ein im Verhältnis zu den vorhandenen Mitteln hinreichend genaues Resultat gefunden zu

1) Bd. I, S. 11.
2) Aristarch, Lehrsatz 16—18.

haben, gebührt dem gelehrten Bibliothekar der Alexandrinischen Bibliothek, dem um die Begründung der Erd- und Himmelskunde hoch verdienten Eratosthenes[1]). Bei gröfserer Ausdehnung der Reisen mufste es den Alten auffallen, dafs die täglichen Kreise, welche bekannte Sterne beschreiben, nicht überall dieselbe Neigung zur Ebene des Horizontes besitzen. Insbesondere konnte ihnen dies nicht lange bezüglich der Sonne verborgen bleiben. So wufste Eratosthenes, dafs dieselbe zur Zeit des Sommersolstitiums im südlichen Ägypten durch den Zenith geht, also dort einen senkrecht zum Horizont stehenden Kreis beschreibt, während sie in Unterägypten eine zum Horizont merklich geneigte, südlich vom Zenith gelegene Bahn durchläuft. Infolgedessen zeigte das Gnomon an dem Mittag dieses Tages zu Syene[2]) keinen Schatten: auch beobachtete man, dafs die Sonne dann daselbst bis auf den Boden tiefer Brunnen hinabscheint. Anknüpfend an diese ihm bekannten Thatsachen, ging Eratosthenes bei der Lösung seiner Aufgabe von einigen Voraussetzungen aus,

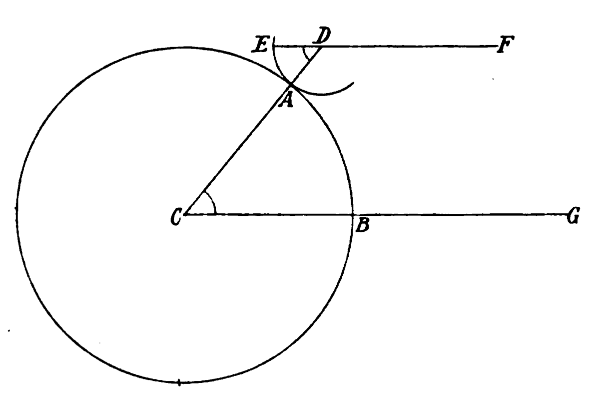



Fig. 2. Die Gradmessung des Eratosthenes.

welche zwar nicht ganz zutreffend sind, aber der Wahrheit doch so nahe kommen, dafs bei dem nur rohen Verfahren, um welches es sich hier handelt, das Resultat dadurch nicht wesentlich beeinträchtigt wurde.

Zunächst war dies die Annahme, dafs die Erde eine vollkommene Kugel sei; ferner, dafs die Strahlen der Sonne, welche in Alexandrien (Fig. 2 A) und in Syene (Fig. 2 B) den Schatten

[1]) Eratosthenes wurde 275 v. Chr. zu Kyrene geboren. Ptolemäus III Euergetes berief ihn nach Alexandrien und ernannte ihn zum Bibliothekar der grofsen alexandrinischen Bibliothek. Sein Hauptwork ist seine „Erdbeschreibung", welche die physikalische und die mathematische Geographie, sowie die Chorographie umfafst. Siehe Bernhardy, Eratosthenica, Berlin 1822. Eratosthenes starb um 194 v. Chr.

[2]) Am letzten Nilkatarakt, fast unter dem nördlichen Wendekreise gelegen.

erzeugen, parallel und beide Städte auf demselben Meridian gelegen seien, während sie in Wahrheit einen Längenunterschied von mehreren Graden [1]) aufweisen.

In A befinde sich das Instrument, welches die Alten zur Bestimmung der Sonnenhöhe gewöhnlich benutzten [2]). Es war dies (siehe Fig. 3) eine halbkugelförmige Höhlung, aus deren Mitte sich ein Gnomon erhob. Dieses Werkzeug wurde so angebracht, dafs der Gnomon AD (Fig. 2) senkrecht zum Horizont stand, also die Verlängerung des Erdradius bildete. Der Winkel EDA liefs sich auf einer Gradeinteilung ablesen und ist gleich dem zu messenden Bogen A B des Meridians. Eratosthenes fand nun EDA gleich $^1/_{50}$ des Kreisumfangs. Er schätzte ferner die Strecke Syene-Alexandrien auf 5000 Stadien. Der Umfang der Erde ergab sich somit gleich $5000 \times 50 = 250000$ Stadien, eine Gröfse, welche sich in heutigem Mafse auf etwa 6000 geographische Meilen beläuft, indes der wahre Wert 5400 Meilen beträgt [4]). Diese wissenschaftliche That des Eratosthenes erregte die ungeteilte Bewunderung des Altertums, welches nur in der besprochenen Messung des Aristarch etwas ähnliches aufzuweisen hat.

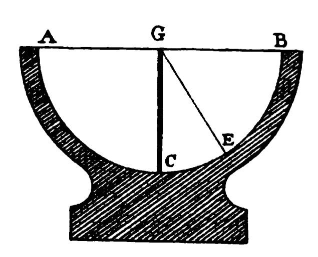


Fig. 3. Das zur Messung der Sonnenhöhe dienende Instrument der Alten [3]).

Das Nächstliegende wäre nun gewesen, mit kritischem Sinne an das erhaltene Resultat heranzutreten und die Gradmessung auf einem nicht lediglich abgeschätzten, sondern genauer gemessenen Teil des Meridians zu wiederholen. Eine solche Untersuchung gelangte jedoch erst zur Ausführung, nachdem sich die Araber den Wissenschaften zugewandt hatten [5]).

Etwa zur selben Zeit, als die Astronomie heranreifte, indem sie sich von der Spekulation der messenden Beobachtung zuwandte, erhielt ein weiterer Zweig der Forschung seine erste wissenschaft-

1) Alexandria liegt um 3° 14′ westlich von Syene.

2) Das Skaphium.

3) Schaubach, Geschichte der griechischen Astronomie. Tab. III. Fig. 2.

4) Näheres siehe bei Lepsius, Das Stadium und die Gradmessung des Eratosthenes auf Grundlage der ägyptischen Mafse; in der Zeitschrift für ägyptische Sprache und Altertumskunde, 1877. 1. Heft S. 3—8. Nach Lepsius kann es keinem Zweifel unterliegen, dafs das Stadium des Eratosthenes eine Länge von 180 Metern besafs. A. a. O. S. 7.

5) Siehe Seite 68 ds. Bd.

liche Gestalt. Es war dies die Naturbeschreibung, vor allem die Zoologie, deren Begründung ein wesentliches Verdienst des Aristoteles und seiner Schüler ist.

In Aristoteles begegnet uns eine der bedeutendsten Erscheinnngen des Altertums, in der sich die Wissenschaft jenes Zeitraums gleichsam verkörperte[1]. Aristoteles war der Sprössling einer griechischen Ärztefamilie, welche den Äskulap als ihren Ahnherrn betrachtete und am makedonischen Hofe in hohem Ansehen stand. Im Jahre 384 v. Chr. zu Stagira, einer in der Nähe des Athos gelegenen griechischen Kolonie, geboren, lag seine Erziehung, wie es damals häufig der Fall war, in der Hand eines einzigen Mannes[2]. Diesem seinem Lehrer bewahrte er auch im späteren Leben eine Dankbarkeit, wie sie ihm selbst wieder von seinem grofsen Schüler Alexander erwiesen wurde.

Der Brennpunkt des geistigen Lebens war um die Mitte des vierten Jahrhunderts v. Chr. Athen. Hier hatte Sokrates gelehrt und Plato eine blühende Philosophenschule gegründet. Was Wunder, dafs der begüterte und für die Wissenschaft begeisterte Jüngling zunächst seine Schritte dorthin lenkte! Im Jahre 367 trat er in die Akademie ein, an welcher Plato lehrte, und gehörte derselben bis zu dem 347 erfolgten Tode des Meisters ununterbrochen an. Letzterer soll den Aristoteles seines unermüdlichen Studierens halber den Leser genannt und, ihn mit einem anderen Schüler vergleichend, gesagt haben, dieser bedürfe des Sporns, jener dagegen des Zügels.

Der Ruf des Aristoteles mufs unterdessen ein hervorragender geworden sein. Es wird nämlich berichtet, dafs König Philipp von Makedonien, als er ihm die Erziehung seines im 14. Lebensjahre stehenden Sohnes übertrug, folgende Worte an Aristoteles geschrieben habe: „Ich fühle mich den Göttern zu Dank verpflichtet, dafs sie den Knaben zu Deiner Zeit geboren werden liefsen. Denn von Dir erzogen, hoffe ich, soll er der Nachfolge auf meinem Throne würdig werden.“ Und so wurde denn — ein Verhältnis, welches einzig in der Geschichte dasteht — der bedeutendste Denker seiner Zeit mit der Erziehung des gröfsten Herrschers betraut.

Über das Erziehungswerk selbst, welches nur die ersten Jahre des makedonischen Aufenthaltes unseres Philosophen umfafste,

[1] Stahr, das Leben des Aristoteles, als I. Teil von Stahrs Aristotelia. Halle, 1830.

[2] des Proxenos.



fehlen nähere Nachrichten. Auch sind die Erzählungen, dafs der königliche Schüler seinem Lehrer 800 Talente, sowie einen ganzen Trupp Leute zu Sammeln von Naturkörpern[1]) zur Verfügung gestellt habe, zum wenigsten übertrieben. Soviel ist jedoch gewifs, dafs Alexander wohl zu schätzen wufste, was er dem Aristoteles verdankte. Durch unverschuldete Umstände geriet letzterer gegen das Ende der Regierung Alexanders in Ungnade. Nach Ablauf eines acht Jahre dauernden Aufenthalts in Makedonien, der eine Zeit des Sammelns und der Vorbereitung gewesen ist, in welcher ihm der Gedanke, eine Encyklopädie der Wissenschaften zu verfassen, jedenfalls schon beherrscht hat, kehrte Aristoteles nach Athen zurück. Dort erhielt er die Erlaubnis, im Lykeion, einem der schönsten Gymnasien der Stadt, zu unterrichten. Von der Gewohnheit des Meisters, dies im Auf- und Abwandeln zu thun, erhielt seine Schule den Namen der Peripatetiker. Während Alexander die Welt eroberte, war Aristoteles hier ein König im Reiche der Wissenschaften. Von seinen zahlreichen Schriften ist indes nur der kleinere, aber wichtigste Teil erhalten geblieben.

Die Stellung des Aristoteles in dem antimakedonisch gesinnten Athen, wo er als Fremder und wegen seiner Beziehungen zu dem verhafsten grofsen König scheel angesehen wurde, war während seines 13jährigen Aufenthaltes in jener Stadt eine wenig angenehme. Als im Jahre 323 v. Chr. die Kunde von dem plötzlichen Tode Alexanders in Griechenland eintraf — von den meisten als ein Signal zur Befreiung vom makedonischen Joche mit Freuden begrüfst — erhoben sich in Athen zahlreiche Widersacher und Neider gegen Aristoteles. Er wurde der Lästerung der Götter angeklagt, zog es aber vor, nicht einen Prozefs abzuwarten, sondern der feindlich gesinnten Stadt den Rücken zu kehren, damit dieselbe, wie er im Hinblick auf Sokrates sagte, sich nicht zum zweiten male an der Philosophie versündige. Wie richtig er seine Lage erkannt hatte, geht daraus hervor, dafs der Areopag ihn bald darauf in contumaciam zum Tode verurteilte.

Aristoteles hatte sich nicht weit fortbegeben. Er war nach Euböa übergesiedelt, wohl in der Erwartung, durch den Sieg der makedonischen Waffen über die sich auflehnenden Athener nach seinem langjährigen Wohnsitz zurückgeführt zu werden. Diese Hoffnung sollte jedoch nur zum Teil in Erfüllung gehen, denn schon in dem auf das Ende Alexanders folgenden Jahre, bevor

[1]) Plinius, hist. nat. VIII, 17.



man in Griechenland die frühere Ordnung der Dinge wieder hergestellt hatte, setzte der Tod seinem reichen Leben ein Ziel.

Während die Mathematik und die Astronomie schon vor dem Auftreten des Aristoteles die ersten Stufen ihrer Entwicklung zurückgelegt hatten und in zielbewufster Weise die Lösung bestimmter Aufgaben anstrebten, war das Gleiche bezüglich der beschreibenden Naturwissenschaften noch nicht der Fall. Zwar waren die Rudimente auch auf diesem Gebiete wie auf demjenigen der Astronomie in der sich unmittelbar aufdrängenden Beobachtung gegeben. Dem Aristoteles und seiner Schule blieb indes die erste denkende Erfassung und systematische Gestaltung der zusammenhangslosen, naturgeschichtlichen Einzelkenntnisse vorbehalten.

Das wichtigste zoologische Werk des Aristoteles ist seine Tierkunde [1]). Dasselbe wurde im ersten Bande dieses Buches schon kurz gekennzeichnet. Der daselbst mitgeteilte Auszug bietet ferner eine Probe von dem Wissen des Aristoteles und der Art, wie er seinen Gegenstand behandelt. Begonnen wird mit der Beschreibung des menschlichen Körpers. Zum Studium der inneren Organe mufste jedoch das Tier dienen, da man sich noch nicht an die Zergliederung menschlicher Leichen heranwagte. Die anatomischen Kenntnisse des Aristoteles sind infolgedessen noch gering. Er hält das Fleisch für das Organ der Empfindung und glaubt, dafs die Bewegung durch die Sehnen veranlafst werde. Das Herz, von dem er sagt, es enthalte von allen Eingeweiden allein Blut [2]), ist ihm auch das Organ, in welchem das Blut bereitet wird. Von hier aus läfst er letzteres sich durch den ganzen Körper verbreiten, ohne jedoch damit die Vorstellung von einem Kreislauf zu verbinden. Das Blut ist ihm ferner der Träger der dem Menschen eingepflanzten Wärme, und die Aufgabe der Atmung soll darin bestehen, diese Wärme auf das richtige Mafs herabzumindern. Man darf sich nicht wundern, dafs die Anschauungen des Aristoteles noch so weit von den heute als richtig erkannten und jedermann geläufigen abweichen. Denn die Erforschung der Vorgänge, welche sich in den Organismen abspielen, hat den

---

[1]) Aristoteles' Tierkunde, kritisch-berichtigter Text mit deutscher Übersetzung, sachlicher und sprachlicher Erklärung und vollständigem Index von H. Aubert und Fr. Wimmer. 2 Bände. Mit 7 lithographierten Tafeln. gr. 8. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1868.

[2]) Siehe Bd. I, Seite 3.



späteren Jahrhunderten die gröfsten Schwierigkeiten bereitet, sodafs wir selbst zur Zeit kaum zu einem befriedigenden Einblick in den Zusammenhang dieser Vorgänge gelangt sind. Die Aufdeckung eines solchen Zusammenhanges ist nämlich vor allem von den Fortschritten der Chemie und der Physik abhängig gewesen, Wissenschaften, welche zur Zeit des Aristoteles kaum im Keime vorhanden waren. So konnte, um hier nur eins zu erwähnen, der Prozefs der Atmung und der Entstehung animalischer Wärme erst richtig gedeutet werden, nachdem man die Zusammensetzung und die Rolle der atmosphärischen Luft erkannt hatte. Und dies geschah erst gegen das Ende des 18. Jahrhunderts, an der Schwelle des letzten Abschnittes der Geschichte der Naturwissenschaften. Es ist Verdienst genug, dafs Aristoteles den Fragen nach den Verrichtungen, sowie nach der Entwicklung der organischen Wesen[1]) zuerst eine wissenschaftliche Fassung gegeben und dadurch späteren Generationen den Anlafs geboten hat, die Erforschung dieser Dinge weiter zu betreiben. So ist die Entwicklung des Hühnchens im Ei ein Problem, welches schon Aristoteles in Angriff nahm. Die Untersuchung wurde dann fast zweitausend Jahre später wieder aufgenommen und erst in neuester Zeit auf Grund der Vervollkommnung aller Hülfsmittel zu einem befriedigenden Abschlufs geführt.

Mit Recht mag es dagegen Verwunderung erregen, dafs Aristoteles nicht nur die niederen, sondern selbst höher organisierte Tiere durch Urzeugung entstehen läfst. Es begegnet uns auch hier wieder ein Problem, das wir durch den Verlauf der Jahrhunderte in seinen Wandlungen verfolgen können, bis es endlich im neuesten Zeitalter seine Lösung gefunden hat.

Zwar ist es begreiflich, wenn Aristoteles Läuse aus Fleisch und Wanzen aus tierischen Feuchtigkeiten herleitet. Man höre aber, welch unwissenschaftliche Vorstellungen er sich über die Entstehung der Aale gebildet hat: „Sie legen“, sagt er[2]), „keine Eier, und man hat noch nie in ihnen einen der Fortpflanzung dienenden Teil entdecken können. Es giebt sumpfige Teiche, in denen sie wieder entstehen, wenn auch das Wasser und der Schlamm herausgeschafft sind, sobald dieselben wieder durch

---

1) Aristoteles 5 Bücher von der Zeugung und Entwicklung der Tiere, übersetzt und erläutert von H. Aubert und Fr. Wimmer. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1860.

2) Nach einem von O. Lenz in seiner Zoologie der Griechen und Römer mitgeteilten Auszug. S. dort. S. 519.



den Regen gefüllt werden. Die Aale gehen nämlich aus Regenwürmern hervor, welche sich von selbst aus dem Schlamme bilden." Zur Entschuldigung mag es dem gegenüber dienen, dafs die Fortpflanzung des Aales bis in die neueste Zeit hinein ein dunkles Kapitel der Zoologie gewesen ist.

Es sind etwa 500 Tierformen, welche Aristoteles in den auf uns gelangten Schriften berücksichtigt. Er bewältigt und beherrscht diesen Formenreichtum ferner — und das ist sein wesentlichstes Verdienst — indem er denselben in ein wohldurchdachtes, der Natur entsprechendes wissenschaftliches System eingliedert, welches erst durch Cuvier im Beginn unseres Jahrhunderts eine wesentliche Verbesserung gefunden hat. Es erscheint deshalb gerechtfertigt, auf diesen ersten und auch gleich so wohlgelungenen Versuch eines natürlichen Systems der Tiere etwas näher einzugehen.

Zunächst teilte Aristoteles das gesamte Tierreich in Bluttiere und Blutlose ein. Ging er zwar hierbei von der unrichtigen Annahme aus, dafs die rote Farbe ein notwendiges Kennzeichen des Blutes sei, so decken sich doch thatsächlich seine beiden grofsen Gruppen, wie wir aus ihrer weiteren Einteilung erkennen werden, mit unseren heutigen Wirbeltieren und Wirbellosen. Die Bluttiere zerfallen bei Aristoteles in lebendig gebärende Vierfüfser (Säugetiere), Vögel, eierlegende Vierfüfser (unsere heutigen Klassen der Reptilien und Amphibien), zu denen er ganz richtig trotz des Fehlens der Gliedmafsen wegen ihrer sonstigen Beschaffenheit die Schlangen rechnet, und in die von den Fischen scharf abgesonderten Waltiere. Für seine fünfte und letzte Gruppe, die Fische nämlich, hebt er das Vorhandensein von Kiemen hervor; auch ist ihm bekannt, dafs die Waltiere durch Lungen atmen und lebendige Junge zur Welt bringen. Dafs letzteres auch bei gewissen Haien vorkommt, weifs er gleichfalls; ja er zeigt sich mit Verhältnissen in der Entwicklung dieser Tiere vertraut, welche erst in der neuesten Zeit ihre Bestätigung gefunden haben[1]).

Unter den Blutlosen (Wirbellosen) gelten ihm als die entwickeltsten die Kopffüfser (Tintenfische), mit deren Bau- und Lebensweise er sich eingehend befafst. Dann folgen die Krebse, von ihm Weichschalige genannt. Die dritte Gruppe bilden die Kerbtiere. Aristoteles begreift darunter sämtliche Tiere mit geringeltem

[1]) Vergl. J. Müller, Über den glatten Hai des Aristoteles. Abh. der Berliner Akademie. 1840.



Körper, also nicht nur die Insekten sondern auch die Spinnen, die Tausendfüfser und die Gliederwürmer. Unter den Kerbtieren interessiert ihn besonders der Bau und die Lebensweise der Honigbienen. Er erwähnt, dafs sie das Bienenbrot an den Schenkeln eintragen und den Honig in ihre Zellen speien. Er erzählt von dem Bau der Waben und kennt die Herkunft und die Rolle, welche das sogenannte Vorwachs besitzt, sodafs wir vor Swammerdam[1]), der durch die Anwendung des Mikroskops und durch die Befolgung der Grundsätze der neueren Naturforschung zu einem weit tieferen Einblick befähigt war, kaum eine gleich gute Schilderung dieses wichtigen Insektes antreffen.

Die vierte Gruppe, ausgezeichnet durch harte Schalen, welche einen weichen ungegliederten Körper einschliefsen, bilden die Schnecken und Muscheln, die von Aristoteles unter dem Namen der Schaltiere zusammengefafst werden. Der fünften und letzten Gruppe, den Seewalzen, Seesternen und Schwämmen, wird eine vermittelnde Stellung zwischen dem Tier- und Pflanzenreich zugewiesen.

Eine ähnliche Bedeutung, wie sie Aristoteles für die Zoologie besitzt, nimmt sein Schüler Theophrast der Botanik gegenüber ein. Bisher hatte man sich den Gewächsen, soweit sie nicht dem unmittelbaren Unterhalt von Mensch und Tier dienen, lediglich aus medizinischem Interesse zugewandt. Das Sammeln der Pflanzen und das Verarbeiten derselben zu heilkräftigen Säften wurde berufsmäfsig von Leuten betrieben, welche die alten Schriftsteller Rhizotomen (Wurzelschneider) nennen. Es waren dies die Vorläufer unserer heutigen Pharmaceuten. Jetzt wandte sich das philosophische Interesse neben der Tierwelt auch dem Pflanzenreich zu. Aristoteles verfafste eine Theorie der Pflanze; es sind jedoch nur wenige Bruchstücke dieser Schrift auf unsere Zeit gelangt. Manche denselben Gegenstand betreffende Ansichten finden sich in den übrigen Schriften des grofsen Philosophen zerstreut. Die erste eingehende Bearbeitung der den Griechen bekannten Gewächse unter Berücksichtigung ihrer Lebensbedingungen sowie der allgemeinen Morphologie lieferte erst Theophrast (geboren um 390 v. Chr.), auf dessen Naturgeschichte der Gewächse[2]) wir jetzt näher eingehen wollen.

---

[1]) Siehe Band I d. Grdr., Seite 95.

[2]) Theophrast, Naturgeschichte der Gewächse, übersetzt und erläutert von K. Sprengel. 1822.



Was bei der Lektüre dieses Buches zunächst auffällt, ist der Mangel genauer Beschreibungen, die erst später in immer höherem Grade als das nächstliegende Ziel der botanischen Wissenschaft erkannt wurden. Oft fehlt eine Beschreibung der zur Besprechung gelangenden Pflanze ganz, da Theophrast sie als den Lesern, für welche er schreibt, hinreichend bekannt voraussetzt. In anderen Fällen beschränkt er sich darauf, augenfällige Eigentümlichkeiten hervorzuheben, sodafs es später oft schwer, ja manchmal unmöglich gewesen ist, selbst nachdem man die Flora Griechenlands genauer kennen gelernt hat, die Identität der einzelnen Pflanzen festzustellen. Als gegen den Ausgang des Mittelalters die Botanik eine Weiterentwicklung erfuhr, war man zunächst in der Vorstellung befangen, die Pflanzen, von denen Theophrast geschrieben, seien auch im westlichen Europa zu finden. Erst nachdem man sich lange in dieser Richtung abgemüht und nur in wenigen Fällen etwas erreicht hatte, weil man der geographischen Verbreitung der Gewächse noch nicht die gebührende Beachtung schenkte, ging man zur möglichst genauen Beschreibung der Pflanzen über. So entstanden die Kräuterbücher, von denen an späterer Stelle die Rede sein wird.

In dem Buche des Theophrast überwiegt das praktische Interesse noch bei weitem das rein wissenschaftliche. Die Beschreibung gewisser technischer Operationen, wie die Gewinnung von Holzkohle, Pech, Harz und Spezereien, ferner die Verwendung der Holzarten, insbesondere aber die Wirkung der Pflanzen auf den menschlichen Organismus, nehmen dementsprechend einen breiten Raum ein. Aber auch von der geographischen Verbreitung, den Krankheiten, der Lebensdauer, sowie der Ernährung der Pflanzen ist die Rede. Dafs dabei zu einer Zeit, in der man kaum beobachten, geschweige denn experimentieren gelernt hatte, manche irrtümliche Ansicht ausgesprochen wird, ist leicht begreiflich. So führt Theophrast die Erscheinung, dafs die Bäume, wenn sie dicht gedrängt stehen, keinen kräftigen Wuchs aufweisen, sondern dünn und lang werden, nicht auf den Einflufs des Lichtes, sondern auf Mangel an Nahrung zurück. Auch die Möglichkeit, dafs sich die eine Pflanzenart in die andere umwandele, ein häufig wiederkehrender Irrtum, wird bei Theophrast erwähnt. So sagt er: „Die wilde Minze soll sich in Gartenminze umändern, auch soll sich der Weizen in Lolch verwandeln.“ Von der Sexualität der Pflanzen vermochte er sich ebensowenig wie das übrige Altertum eine klare Vorstellung zu bilden, doch erwähnt er, dafs man bei

den Dattelpalmen das Ansetzen von Früchten dadurch zu befördern suche, dafs man die stauberzeugenden Blüten über die fruchtgebenden hänge. Ein Verdienst erwarb sich Theophrast durch die begriffliche Bestimmung, sowie die Morphologie der wichtigsten Pflanzenorgane. Doch vermochte er es nicht, eine naturgemäfse Einteilung des Pflanzenreichs zu schaffen und damit das zu leisten, was Aristoteles für die Zoologie gethan. Er überschreibt z. B. ein Kapitel: „Von den wilden Bäumen", während ein anderes mit den Worten beginnt: „Jetzt soll von den Gewächsen der Flüsse, Sümpfe und Teiche die Rede sein."

Auch die dritte der beschreibenden Naturwissenschaften, die Mineralogie fand ihre erste Bearbeitung in demselben Zeitalter, in welchem die Zoologie und die Botanik ins Leben gerufen wurden. Dies geschah gleichfalls durch Theophrast, und zwar in seinem Werke „Über die Steine"[1]). Jedoch handelt es sich hier in noch höherem Grade wie in der Botanik um eine blofse Zusammenstellung von chemischen und mineralogischen Einzelkenntnissen, in deren Besitz man insbesondere durch die Ausübung hüttenmännischer Prozesse gelangt war. Bestanden doch z. B. in Attika die Silberhütten des Laurion seit den ältesten Zeiten. Ihre reichen Erträgnisse ermöglichten es Athen, zur Abwehr der Perser Rüstungen von einem Umfange zu betreiben, wie sie sich ein solch kleiner Staat sonst schwerlich hätte auferlegen können. Es handelte sich am Laurion um silberhaltige Bleierze, aus welchen man zunächst, wie es noch heute geschieht, durch Rösten und darauf folgendes Niederschmelzen das rohe Blei gewann. Ein der Treibarbeit entsprechendes Verfahren lieferte dann infolge der Oxydation des Bleies zu Glätte das Silber[2]).

Nach diesem Einblick in die Entstehung der beschreibenden Naturwissenschaften wenden wir uns den Anfängen der Physik und der Chemie zu. Am meisten Erfolg hatte man auf diesen Gebieten dort aufzuweisen, wo die rasch emporblühende Mathematik Anwendung finden konnte; dies galt insbesondere von der Mechanik.

Wie die ersten erfolgreichen Schritte auf dem Gebiete der

---

[1]) *Περὶ λίθων*. Deutsch von Baumgärtner. Nürnberg 1770.

[2]) Böckh, Abhandlungen der Berliner Akademie. 1814/15. S. 104. Die von den Athenern aufgehäuften Schlacken enthalten noch 10% Blei und 0,004% Silber; sie werden neuerdings wieder auf diese beiden Metalle verarbeitet. (Siehe Dammer, Handbuch der chemischen Technologie. 1895. II. Band S. 459.)



Astronomie waren die Anfänge der Mechanik von dem Erreichen einer gewissen Stufe des mathematischen Denkens abhängig. Dem Verlauf der Vorgänge angemessene Begriffe entwickeln sich daher hier weit später als das Vermögen, die Gesetze der Mechanik anzuwenden, ohne sich derselben klar bewufst zu sein. Das letztere mufste nämlich schon bei der frühesten Ausübung gewerblicher Thätigkeit stattfinden. Welch unvollkommene Vorstellungen in mechanischen Dingen die meisten naturwissenschaftlichen Schriftsteller des Altertums hegten, davon bietet sich manches Beispiel dar. So erzählt Plinius[1]) folgendes von dem Schiffshalter (Echineis remora), einem Fisch des Mittelmeeres, welcher eine Anzahl Saugnäpfe auf der Stirn besitzt und sich mit diesen an Schiffen und anderen Gegenständen festzuhalten vermag: „Mögen die Stürme wüten und die Wogen rasen, dieses kleine Geschöpf spottet ihrer Wut, zähmt ihre Kraft und zwingt ein Schiff zu stehen, wenn kein Tau und kein Anker dazu imstande ist. Und zwar hemmt es den Ansturm und bezwingt die Elemente nicht durch eigene Arbeit oder Gegenwirkung, sondern einzig und allein dadurch, dafs es sich anhängt.“

Eine solche Unklarheit herrschte also bezüglich eines so einfachen mechanischen Begriffes wie das Ziehen, dafs ein Schriftsteller wie Plinius, lange nachdem die ersten erfolgreichen Schritte auf dem Gebiete der Mechanik durch Archimedes gethan waren, derartige Fabeln ohne Widerspruch aufnahm. Hierin zeigt sich aber auch, dafs Archimedes auf das physikalische Denken der auf ihn folgenden Jahrhunderte nur einen geringen Einflufs ausgeübt hat und in seiner riesenhaften Gröfse eine vereinzelt stehende Erscheinung blieb. Das volle Verständnis für seine Werke, sowie die Fähigkeit an das von ihm Geleistete anzuknüpfen und darauf weiterzubauen scheint in den nächsten $1^1/_2$ Jahrtausenden mit geringen Ausnahmen überhaupt nicht vorhanden gewesen zu sein. Umso weniger wird man sich wundern, dafs alle vor Archimedes zur Begründung der Mechanik unternommenen Versuche erfolglos gewesen sind, obgleich sich kein geringerer als Aristoteles in dieser Richtung abgemüht hat. Da letzterer aber nicht von Versuchen, sondern lediglich von Begriffsdefinitionen ausging, und in diese das natürliche Geschehen hineinzuzwängen suchte, blieb sein Werk über die Mechanik[2])

[1]) Plinius, histor. nat. XXXII, 1.

[2]) Aristoteles, Mechanische Probleme, von Poselger. Hannover, 1881.

das verfehlteste Erzeugnis des berühmten Mannes. Nichtsdestoweniger beansprucht dasselbe unser Interesse, weil die neuere Naturwissenschaft damit anhob, diese bis zum 17. Jahrhundert in gröfstem Ansehen stehende Schrift zu bekämpfen. Um die Unhaltbarkeit der in derselben vorkommenden Behauptungen nachzuweisen, war man nämlich dem blofsen Räsonnement der damals herrschenden Scholastik gegenüber gezwungen, die eigene Erfahrung und das Experiment in den Vordergrund zu stellen.

Zu den alltäglichsten Erscheinungen, welche vor allem dazu angethan waren, das Nachdenken hervorzurufen, gehört die Bewegung frei fallender Körper. Diese Erscheinung, deren Betrachtung später Newton zur Entdeckung des Weltgesetzes führte, wurde von Aristoteles durchaus irrig aufgefafst. Bezeichnend für die ganze Geistesrichtung dieses Mannes ist es, dafs er nicht von der Erscheinung selbst, sondern von begrifflichen Definitionen ausgeht und bei diesen stehen bleibt. Er betrachtet zunächst die Bewegung und unterscheidet zwei Arten derselben, die begrenzte geradlinige und die unbegrenzte kreisförmige. Letztere als die angeblich vollkommnere schreibt er den himmlischen Körpern zu. Die geradlinige Bewegung wird aus einem entweder zum Centrum hin oder vom Centrum fort gerichteten Streben der Körper erklärt und so die Begriffe Leichtigkeit und Schwere konstruiert. Die erstere Eigenschaft wird der Luft und dem Feuer, die zweite dem Wasser und der Erde, d. h. allen flüssigen und festen Körpern beigelegt. Aus diesen Definitionen folgt nun für Aristoteles mit zwingender Notwendigkeit, dafs der schwerere Körper, weil sein Streben zum Centrum ein gröfseres sei, sich schneller abwärts bewegen müsse. Hieraus schlossen dann später die Anhänger des Aristoteles, dafs die Körper genau in demselben Verhältnis schneller fielen, je gröfser ihr Gewicht sei, sodafs beispielsweise ein hundertpfündiges Stück Eisen auch hundertmal so schnell zur Erde gelange, wie ein solches von einem Pfund Gewicht. Jeder ohne Voreingenommenheit angestellte Versuch hätte diesen Schlufs als unhaltbar darthun müssen, trotzdem blieb derselbe — ein Beweis, welch unheilvolle Macht der Autorität des geschriebenen Wortes unter Umständen innewohnt — in Geltung, bis Galilei ihn durch seine Fallversuche glänzend widerlegte.

Ganz anderer Art waren die Probleme, welche etwa hundert Jahre nach Aristoteles den Archimedes beschäftigten. Sie betrafen das Gebiet der Statik und wurden nach echt naturwissenschaftlicher Methode, d. h. gestützt auf Versuche und mathema-

tischer Deduktion und deshalb mit bestem Erfolge behandelt. Die Werke des Archimedes[1]) sind daher als das hervorragendste Erzeugnis des griechischen Geistes auf dem exakten Gebiete zu bezeichnen. Es scheint kein Zufall zu sein, dafs dieselben nicht in dem vorwiegend der Kunst und der Philosophie zugewandten Mutterlande, sondern in Grofsgriechenland entstanden sind, wo der Handel pulsierte und eine gewisse die forschende Thätigkeit begünstigende Nüchternheit des Verstandes vorherrschte.

Über das Leben des Archimedes ist wenig Zuverlässiges bekannt. Er wurde um das Jahr 287 v. Chr. in Syrakus geboren, gehört also in die für Sicilien so bewegte Zeit der grofsen Entscheidungskämpfe, welche Rom und Karthago um die Weltherrschaft führten. Die Geschichtsschreiber dieser Periode, Livius, Polybios und Plutarch, sind es auch, denen wir die meisten Nachrichten über Archimedes verdanken. Was diese und andere über ihn erzählen, setzt sich indessen zum gröfsten Teil aus kleinen Anekdoten zusammen, mit denen das Altertum das Leben seiner berühmten Männer, insbesondere seiner hervorragenden Denker, auszuschmücken liebte.

Archimedes war nach Plutarch ein Verwandter Hieros II., des Tyrannen von Syrakus, und lebte, ohne ein öffentliches Amt zu bekleiden, ganz der Wissenschaft. Eine Zeit lang hielt er sich auch in Ägypten auf. Dort war nach dem Tode Alexanders des Grofsen in der alexandrinischen Schule eine Stätte hellenischer Wissenschaft emporgeblüht, welche berufen war, in den nachfolgenden Jahrhunderten die Fackel des Geistes hochzuhalten. Mit den damaligen Mitgliedern dieser Schule ist Archimedes zwar in Verkehr getreten; es würde jedoch zu weit gehen, wenn man ihn deshalb zu derselben rechnen wollte.

Seine Beziehungen zu den Syrakusanischen Machthabern scheinen ihn veranlafst zu haben, dafs er sein aufserordentliches mechanisches Geschick der Vervollkommnung der Schleuderwerkzeuge und anderer Kriegsgeräte zuwandte. Die Alten rühmen dem Archimedes die Erfindung von nicht weniger als 40 Maschinen nach. Unter diesen werden auch der Flaschenzug und die sogenannte Archimedische Schraube aufgezählt. Letztere soll er in Ägypten zum Entwässern der vom Nile überschwemmten Gegenden erfunden

---

[1]) Archimedes von Syrakus vorhandene Werke. Aus dem Griechischen übersetzt und mit erläuternden und kritischen Anmerkungen begleitet von Ernst Nizze. Stralsund 1824.



haben. Bei manchen Angaben der Alten, insbesondere denjenigen, welche sich auf die von Archimedes geleitete Verteidigung seiner Vaterstadt beziehen, ist es indessen schwer, Wahrheit und Irrtum auseinanderzuhalten. So wird erzählt, Hiero habe ihn aufgefordert, vermittelst einer geringen Kraft eine grofse Last zu bewegen. Dies habe Archimedes zur Erfindung des Flaschenzuges geführt, mit dem er dann vor den erstaunten Augen des Königs eine schwer beladene Triere ohne Anstrengung an das Land gezogen.

Besser sind wir über die letzten Lebensjahre des Archimedes unterrichtet, da sie in die Zeit der Belagerung von Syrakus fallen, bei welcher Archimedes den Nachrichten der Geschichtschreiber[1]) zufolge eine wichtige Rolle gespielt und schliefslich ein tragisches Ende gefunden hat. Auch bezüglich der über diese Begebenheit auf uns gelangten Nachrichten sind Wahrheit und Dichtung gemengt. Der zweite punische Krieg, welcher das Schicksal Siciliens entscheiden sollte, hatte im Jahre 218 v. Chr. mit einem Siegeslauf Hannibals begonnen, wie ihn die Welt seit den Tagen Alexanders nicht gesehen. Bald jedoch wandte sich das Glück, und während Hannibal sich nur durch geschicktes Manövrieren in Italien zu halten wufste, brachten die Römer eine Stadt Siciliens nach der anderen zu Fall, bis sich endlich die ganze Insel in ihren Händen befand. Am meisten Schwierigkeiten bereitete dem römischen Feldherrn Marcellus die Stadt Syrakus, und das Verdienst, dafs dieselbe viele Monate der Belagerung zu trotzen vermochte, wird vor allem den Verteidigungsmafsregeln des Archimedes zugeschrieben. Wurfmaschinen von ganz hervorragender Wirkung und Treffsicherheit, die nach Plutarch Steinblöcke von etwa 12 Zentnern auf grofse Entfernung schleuderten, schreckten die Stürmenden zurück. Dem Angriff der Flotte suchte man mit Feuerbränden zu begegnen. Spätere Berichterstatter haben daraus die völlig unglaubwürdige Erzählung gemacht, Archimedes habe die Schiffe der Belagerer mit Hülfe von Hohlspiegeln in Brand gesetzt.

Als endlich die Römer im Jahre 212 die Stadt einnahmen und die Soldaten, voll Wut über die erlittenen Mühseligkeiten und Verluste, ein furchtbares Gemetzel begannen, zählte Archimedes zu den Opfern desselben. Über sein Ende, welches Marcellus sehr betrübt haben soll, lauten die Berichte verschieden. Am bekanntesten ist die Erzählung, nach welcher

---

1) Polybios: Geschichte. Übersetzt von Haakh. Stuttgart 1868. 8. Buch, Kapitel 5—9. — Plutarchos: Marcellus 14—19.

Archimedes, in Nachdenken über ein mathematisches Problem versunken, von einem römischen Soldaten niedergestofsen wurde. Seine letzten Worte sollen „Noli turbare circulos meos“ gelautet haben. Das Grab des Gelehrten wurde mit einem Stein geschmückt, dem keine Inschrift, sondern die von dem Cylinder umschlossene Kugel eingemeifselt wurde. So soll es Archimedes selbst gewünscht haben, ein Zeichen, welchen Wert er auf seine Entdeckung legte, dafs der Inhalt der Kugel zum Inhalt des umschliefsenden Cylinders sich wie 2:3 verhält. Dieses Grabmal, welches Marcellus errichten liefs, wurde später von Cicero, als derselbe auf Sicilien die Quästur bekleidete, in sehr vernachlässigtem Zustande wieder aufgefunden und der Vergessenheit entrissen[1]).

Die wissenschaftliche Bedeutung des Archimedes ist in gleicher Weise auf den Gebieten der reinen Mathematik und der Mechanik zu suchen. Aufser dem soeben erwähnten wichtigen Satze über den Inhalt der beiden Körper, deren Oberflächenverhältnis er gleichfalls auffand, lieferte Archimedes eine Arbeit über die Kreismessung, welche eine Berechnung der Zahl $\pi$ enthält. Das eingeschlagene Verfahren ist das in der elementaren Geometrie noch jetzt gelehrte. Ausgehend von dem Satze, dafs die Peripherie des Kreises kleiner ist als der Umfang des umschriebenen und gröfser als derjenige des eingeschriebenen regelmäfsigen Vielecks, berechnet Archimedes als Grenzwerte für $\pi$ die Zahlen 3,141 und 3,142. Es sind dies nämlich diejenigen Werte, welche sich für den Umfang des ein- und umgeschriebenen regelmäfsigen 96-Ecks ergeben.

Die Behandlung ebener Figuren wurde von Archimedes jedoch auch über das Gebiet der elementaren Mathematik hinausgeführt, indem er den Inhalt der Parabel berechnen lehrte und die Eigenschaften von Kurven höherer Ordnung, wie der Spiralen, aufwies. Bei der Besprechung der Verdienste des Archimedes um die reine Mathematik sei ferner einer seiner Schriften Erwähnung gethan, welche besonders in früherer Zeit viel gelesen wurde und auch heute noch Beachtung verdient; es ist dies die „Sandesrechnung“[2]).

Zum Verständnis der in dieser Abhandlung gelösten Aufgabe müssen wir vorausschicken, dafs die Griechen etwas unserem

---

[1]) Cicero, tuscul. disput. V, 23.

[2]) Um den Leser mit dem Inhalt und der Bedeutung dieser Schrift bekannt zu machen, ist dieselbe in freier Bearbeitung und erheblich gekürzt dem I. Bande dieses Werkes einverleibt. Siehe dort Seite 10 u. f.

heutigen Ziffernsystem Entsprechendes noch nicht besafsen. Die Zahlen wurden durch Buchstaben bezeichnet. Gröfsere Zahlen zu schreiben, war daher sehr unbequem, weil man das Prinzip des Stellenwertes, das erst durch Vermittlung der Araber nach Europa gelangte, noch nicht kannte, und auch noch kein Zeichen für die Null besafs. Es ist erstaunlich, wie weit es die Alten trotzdem in der Arithmetik gebracht haben; wagte sich Archimedes doch sogar an die unendliche geometrische Reihe 1 $^1/_4$ $^1/_{16}$ $^1/_{64}$ . ., deren Summe er gleich $^4/_3$ fand.

In der Sandesrechnung wird gezeigt, dafs sich jede noch so grofse Menge durch eine Zahl ausdrücken läfst. Indem Archimedes die Dimensionen der Aristarchischen Fixsternsphäre zu Grunde legt, berechnet er, wieviel Sandkörner von bestimmter Gröfse darin Platz finden können. Das Ergebnis ist nach unserer heutigen Bezeichnungsweise die Zahl $10^{63}$ oder 1000 Decillionen. Von solchen Zahlen bis zur Konception des Unendlichkeitsbegriffes [1]) war nur noch ein Schritt.

An hervorragenden Mathematikern besafs das Altertum keinen Mangel, wir brauchen nur Euklid und Apollonius zu nennen. Es gab aber niemand bis in die neuere Periode der Geschichte der Wissenschaften, der ähnliche Leistungen auf dem Gebiete der Mechanik vollbracht hätte wie Archimedes, den wir als den eigentlichen Begründer dieser Wissenschaft bezeichnen müssen. Mit den wichtigsten der von ihm gefundenen Sätze, welche sich auf das Gebiet der Statik und der Hydrostatik beziehen, ist der Leser bereits durch den zweiten Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden. An den siebenten Satz, welcher das Hebelgesetz zum Ausdruck bringt, knüpft sich das dem Archimedes zugeschriebene Wort: Gieb mir einen Ort, wo ich mich hinstellen kann, und ich will die Erde bewegen[2]). Die Schwerpunktsbestimmungen, auf die sich Satz 8—10 beziehen, werden im zweiten Teile der Abhandlung vom Gleichgewicht[3]) sogar auf das Parabelsegment ausgedehnt, nachdem Archimedes vorher die Quadratur der Parabel gelehrt hat. In den Büchern, welche von den schwimmenden Körpern handeln, leitet er aus den Grundeigenschaften der Flüssigkeiten, nämlich der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teilchen und der Druckfortpflanzung, eine Reihe von Sätzen ab, von denen die wichtigsten gleichfalls im zweiten Abschnitt des I. Bandes mitgeteilt

---

1) S. Günther, Geschichte der antiken Naturwissenschaft. 1888. Seite 21.

2) *δός μοὶ ποῦ στῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν* (Pappus VIII, 11 ed. Hultsch).

3) Archimedes Werke. Ausgabe von Nizze, Seite 26 ff.

wurden. Satz 15 bringt das hydrostatische Grundgesetz zum Ausdruck, auf welches Archimedes nach der Erzählung des Vitruv durch einen besonderen Anlafs gekommen sein soll. Nach diesem Schriftsteller hatte Hiero aus einer abgewogenen Menge Gold eine Krone anfertigen lassen. Als man ihm dann hinterbrachte, dafs ein Teil des Goldes unterschlagen und durch Silber ersetzt worden sei, wurde Archimedes zu Rate gezogen, um den Betrug nachzuweisen. „Dieser, eifrig damit beschäftigt", fährt Vitruv fort[1]), „kam nun zufällig in ein Bad. Als er dort in die gefüllte Wanne hinabstieg, bemerkte er, dafs das Wasser in gleichem Mafse austrat, in welchem er seinen Körper in die Wanne niederliefs. Sobald er nun auf den Grund dieser Erscheinung gekommen war, verweilte er nicht länger, sondern sprang von Freude getrieben aus dem Bade, und, nackend seinem Hause zulaufend, rief er mit lauter Stimme: εὕρηκα! ἕυρηκα! (ich habe es gefunden)!

Die Lösung des von Hiero gestellten Problems der sogenannten Kronenrechnung, erzählt Vitruv mit folgenden Worten: „Dann soll er von jener Entdeckung ausgehend, zwei Klumpen von demselben Gewicht, welches der Kranz besafs, den einen von Gold, den anderen von Silber hergestellt haben. Nachdem er dies gethan, füllte er ein weites Gefäfs bis zum obersten Rande mit Wasser und senkte dann den Silberklumpen hinein, worauf das Wasser in gleichem Mafse ausflofs, wie der Klumpen in das Gefäfs getaucht wurde. Nachdem er den Klumpen wieder herausgenommen hatte, füllte er das Wasser um so viel wieder auf, als es weniger geworden war und mafs dabei die zugegebene Menge. Daraus ergab sich, welches Gewicht Silber einem bestimmten Volumen Wasser entspricht. Nachdem er dies erforscht hatte, senkte er den Goldklumpen in das volle Gefäfs und füllte das verdrängte Wasser vermittelst eines Hohlmafses nach. Es ergab sich, dafs diesmal von dem Wasser um so viel weniger abgeflossen war, wie der Goldklumpen ein minder grofses Volumen besitzt als ein Silberklumpen von demselben Gewicht. Nachdem er hierauf das Gefäfs abermals gefüllt und den Kranz selbst in das Wasser gesenkt hatte, fand er, dafs mehr Wasser bei dem Kranze als bei dem gleichschweren Goldklumpen abflofs, und entzifferte aus dem, was mehr bei dem Kranze abflofs, die Beimischung des Silbers und machte so die Unterschlagung offenbar."

Im weiteren Verlauf seiner Abhandlung untersucht Archi-

[1]) Vitruv, de architectura IX. Übersetzt von F. Reber, Stuttgart 1865.



medes die Stabilität gewisser schwimmender Körper, wie des Kugelabschnitts und des parabolischen Konoids, wobei es ihm offenbar mehr auf eine Bethätigung seines mathematischen Geschicks als auf eine Bereicherung der Mechanik ankommt. Überhaupt erweist sich die Mathematik des Archimedes den derzeitigen mechanischen Problemen gegenüber als der überlegene Teil, während in der neueren Periode das umgekehrte Verhältnis obwaltet[1]), sodafs der von Leibnitz herrührende Ausspruch[2]): „Wer in die Werke des Archimedes eindringt, wird die Entdeckungen der Neueren weniger bewundern", wohl gerechtfertigt erscheint.

Ein zweites Gebiet, welches sich der mathematischen Behandlung zugänglich erwies, war die Akustik. So erkannten z. B. die Pythagoräer, dafs die Längen von gleich dicken und in gleichem Mafse gespannten Saiten, wenn sich Konsonanzen ergeben sollen, in einem einfachen Verhältnis stehen müssen. Dieses Verhältnis fanden sie für die Oktave gleich 1 : 2 und für die Quinte gleich 2 : 3. Und zwar geschah dies mit Hülfe eines Monochords, welches die Einrichtung besafs, dafs eine Saite über einen Steg geführt und durch Gewichte beliebig gespannt wurde. In diesem Instrumente begegnet uns der erste Apparat, vermittelst dessen auf experimentellem Wege ein Naturgesetz gefunden wurde. Auch bei Aristoteles treffen wir klare Vorstellungen über akustische Vorgänge. Aristoteles schreibt der Luft die vermittelnde Rolle bei den Schallerscheinungen zu und führt die letzteren auf Schwingungen der tönenden Körper zurück, welche sich bis zu unserem Ohre fortpflanzen. Die gleiche Anschauung überträgt er auch auf das Gebiet der Optik. Vor ihm hatte sich die wunderbare Vorstellung entwickelt, das Sehen sei eine Art Tasten, bei dem das Auge sich aktiv verhalte und sozusagen Fühlfäden nach dem Körper hin erstrecke. Aristoteles wendet dagegen ein, dafs man dann auch während der Nacht zum Sehen befähigt sein müsse. Ähnlich wie beim Schall die Luft zur Übermittelung erforderlich sei, setze auch das Licht ein Medium zwischen dem Auge und dem gesehenen Gegenstande voraus, welches die Wirkung zu übertragen vermöge.

Die erste systematische Behandlung der Optik wird dem

---

1) Siehe auch E. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873. Seite 9.

2) Leibnitii opera, Generae, 1768. V, 460.



um 300 v. Chr. zu Alexandrien lebenden Mathematiker Euklid[1]) zugeschrieben. Ausgehend von der Thatsache, dafs die Lichtstrahlen gerade Linien sind und nach dem Reflexionsgesetz zurückgeworfen werden, beschäftigt sich Euklid mit der Spiegelung, der Gestalt und der scheinbaren Gröfse der Gegenstände. Von Interesse ist der Satz[2]), dafs „von Hohlspiegeln, welche gegen die Sonne gehalten werden, Feuer angezündet wird". Doch wird behauptet, dafs die Entzündung nicht nur zwischen dem Spiegel und dem Krümmungsmittelpunkt, sondern auch in letzterem selbst erfolge. Auch mit einem der bekanntesten Versuche über die Brechung des Lichtes war schon Euklid bekannt. Er berichtet darüber mit folgenden Worten[3]): „Legt man einen Gegenstand auf den Boden eines Gefäfses und schiebt letzteres soweit zurück, dafs der Gegenstand eben verschwindet, so wird dieser wieder sichtbar, wenn wir Wasser in das Gefäfs giefsen."

Einen merkwürdigen Ansatz zur induktiven Behandlung eines optischen Problems finden wir weit später bei Ptolemäos. Dieser Mann, berühmt als Mathematiker, Geograph und Astronom, dessen Weltsystem fast 1½ Jahrtausende die Wissenschaft beherrscht hat, lebte im zweiten Jahrhundert nach Christi Geburt in Alexandrien, dem damaligen Mittelpunkt aller wissenschaftlichen Bestrebungen.

Die Erscheinung, dafs ein Lichtstrahl beim Übergang aus einem Medium in ein zweites von anderer Dichte abgelenkt wird, während das Licht sich in ein und derselben Substanz geradlinig fortpflanzt, konnte selbst der frühesten Beobachtung nicht entgehen. Auch bemerkte man, dafs diese Brechung umso auffälliger ist, je schräger das Licht die Grenzfläche zwischen beiden Medien trifft. Der erste Schritt auf dem Wege der induktiven Behandlung mufste nun darin bestehen, dafs man die Erscheinung messend verfolgte und für eine Reihe angenommener Winkel die Gröfse der abhängigen Werte durch den Versuch bestimmte. Letzteres geschah durch Ptolemäos; mit einem zu diesem Zwecke konstruierten Apparat mafs er für die Einfallswinkel von 10°, 20°, 30° etc. die zugehörigen Brechungswinkel. Sein Instrument bestand aus einer Scheibe, welche in Grade geteilt war und bis

[1]) Euklids Optik und Katoptrik wurde 1557 zu Paris griechisch und lateinisch herausgegeben. Eine neuere Ausgabe von Gregory erschien im Jahre 1703.

[2]) 31. Theorem der Katoptrik Euklids.

[3]) 7. Erfahrungssatz der Katoptrik.



zum Mittelpunkt in Wasser tauchte (siehe Fig. 4). Das Verfahren war folgendes: Ein Lichtstrahl BC wurde durch eine Marke B des über dem Wasserspiegel MN befindlichen Scheibenstückes nach dem Mittelpunkte C der Scheibe geleitet. An dieser Stelle fand beim Eintritt in das Wasser die Brechung statt. Der gebrochene Strahl CD setzte seinen Weg unter dem Wasserspiegel fort, bis er die Peripherie in einem auf der Gradeinteilung abzulesenden Punkte D wieder traf. Die Werte, welche Ptolemäos auf solche Weise erhielt, sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

| Einfallswinkel ($\alpha$) | Brechungswinkel ($\beta$) | |
|---|---|---|
| 10° | 8° | (statt 7° 17′) |
| 20° | 15,5° | ( „ 14° 47′) |
| 30° | 22,5° | ( „ 21° 54′) |
| 40° | 28° | ( „ 28° 40′) |
| 50° | 35° | ( „ 34° 52′) |
| 60° | 40,5° | ( „ 40° 16′) |

Der Brechungsexponent für den Übergang des Lichtes aus Luft in Wasser ergiebt sich daraus gleich 1,31, während derselbe nach neueren Messungen 1,33 beträgt. Die erhaltenen Resultate waren also im Hinblick auf die Art des Verfahrens recht genau, ein Beweis, dafs eins der wichtigsten Erfordernisse der exakten Forschung, die Schärfe der Beobachtung nämlich, dem Ptolemäos nicht mangelte.

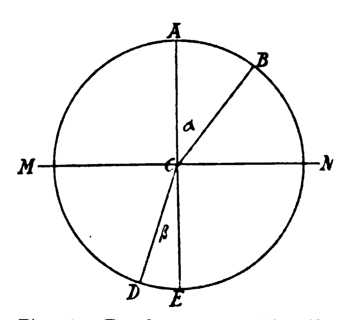


Fig. 4. Ptolemäos mifst die Brechungswinkel.

Nach dem Messen besteht der nächste Schritt auf dem Wege des induktiven Verfahrens in dem Auffinden einer gesetzmäfsigen Beziehung zwischen den gegebenen und den gefundenen Gröfsen. Ptolemäos hat auch diesen Schritt versucht und wenn es ihm auch nicht gelang, jene Beziehungen auf einen mathematischen Ausdruck zurückzuführen, so sprach er doch das Grundgesetz der Dioptrik wenigstens dahin aus, dafs der Lichtstrahl beim Übergange aus einem dünneren in ein dichteres Medium zum Einfallslote hingebrochen wird und umgekehrt. Er findet es sogar wahrscheinlich, dafs für je zwei Substanzen stets ein bestimmtes Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel obwaltet.

Nachdem dieses Problem soweit gefördert war, hat es lange Zeit geruht. Zwar beschäftigte es die gerade auf dem Gebiete

der Optik sehr thätigen Araber[1]; doch gelangten dieselben nicht wesentlich über Ptolemäos hinaus. Auch Johann Keppler hat sich damit befafst, indem er nach einer später zu beschreibenden Methode Messungen über die Brechung im Glase anstellte und den Begriff des Grenzwinkels einführte. Seine Lösung fand das Problem indes erst im 17. Jahrhundert durch Snellius, den wir als den Entdecker des Brechungsgesetzes kennen lernen werden.

Während die Mechanik, die Optik und die Akustik schon in diesem Zeitalter ihre Grundlagen erhielten, blieb man auf den Gebieten der Wärme, des Magnetismus und der Elektricität bei einigen rohen Beobachtungen und mystischen Deutungen stehen. So war der Magnetstein und seine Eigenschaft, das Eisen anzuziehen, schon dem frühesten griechischen Altertum bekannt. Da man der Seele das Vermögen etwas zu bewegen zuschrieb, glaubte man, dafs der Magnet ähnlich wie das Tier und die Pflanze beseelt sei[2].

Auch das Verhalten des Magneten, durch andere Substanzen hindurch zu wirken, konnte nicht lange verborgen bleiben. So erzählt Lukrez, der in seinem während der römischen Kaiserzeit entstandenen Lehrgedicht „De rerum natura" die magnetischen Erscheinungen mit behaglicher Breite schildert: „Ich sah eiserne Spähn' aufkochen und wallen in ehernen Schalen, wenn der magnetische Stein denselbigen untergelegt ward"[3]. Auch die bei Uneingeweihten das gröfste Staunen erregenden Ketten, welche aus eisernen, magnetisch gemachten Ringen bestanden, die nicht in einander griffen, sondern sich nur berührten, beschreibt Lukrez. Ja, er wagt sich sogar an eine Erklärung der magnetischen Erscheinungen. Wie von manchen Körpern, so sollen auch vom Magneten Teilchen ausströmen, welche die benachbarte Luft zurückdrängen. Infolgedessen „stürzen urplötzlich des Eisens Stoffe sich hin nach dem Leeren, und also geschieht es"[4].

Dafs der Magnet zwei Pole besitzt und dafs zwischen diesen eine Indifferenzzone liegt, scheint den Alten entgangen zu sein.

---

1) Alhazen im 7. Buche seiner Optik. Siehe Seite 70 ds. Bd.

2) So heifst es bei Aristoteles (de anima I, 2): Auch Thales scheint die Seele für etwas Bewegendes gehalten zu haben, da er von dem Magneten sagt, dafs er eine Seele besitze, weil er das Eisen bewegt.

3) Lukrez VI. v. 1043—1044.

4) Lukrez VI. v. 1005—1006.



Auch von der Richtkraft besafsen sie keine Kenntnis, während die Chinesen mit derselben schon mehrere tausend Jahre vor Beginn unserer Zeitrechnung vertraut waren.

Mit der Grunderscheinung der Reibungselektricität sind die alten Völker jedenfalls bekannt geworden, sobald sie durch den Handel in den Besitz des Bernsteins gelangten, da dieser in besonders auffälliger Weise nach dem Reiben leichte Körperchen anzieht. An anderen Substanzen scheinen die Alten jene Eigenschaft nicht bemerkt zu haben, ebensowenig wie sie einen Zusammenhang zwischen derselben und dem Gewitter ahnten. So erblickte Anaximenes in dem tötenden Blitz und dem rollenden Donner zwar nicht mehr, wie das in den Anschauungen einer heidnischen Naturreligion befangene Volk, das Geschofs und die Stimme des Zeus; er war aber auch noch weit entfernt von einer richtigen Deutung der Erscheinung, denn er hält den Blitz für die in den Wolken verdichtete Luft, welche plötzlich und mit Geräusch hervorbricht.

Auch das Phänomen der tierischen Elektricität war den Alten wohl bekannt; dasselbe entzog sich aber jeder Einsicht. Gelang doch eine Erklärung der atmosphärischen Erscheinungen aus den Gesetzen der Reibungselektricität erst im 18. Jahrhundert, während ein Verständnis der Gesetze der tierischen Elektricität erst in der neuesten Periode nach der Entdeckung des Galvanismus aufging. „Dem Zitterrochen steht ein gefährliches Gift zu Gebote", schreibt Oppian[1]), „von Natur ist er schwach und so langsam, dafs es aussieht als könne er nur kriechen. Er besitzt auf jeder Seite ein Gewebe, welches denjenigen, der es berührt, sogleich jeder Kraft beraubt, sein Blut erstarren macht und seine Glieder lähmt." Plinius ahnt schon, dafs man es hier mit einem Phänomen ganz eigener Art zu thun hat, wenn er sagt[2]): „Der Zitterrochen lähmt selbst aus der Ferne, sobald er nur mit der Lanze berührt wird, den stärksten Arm. Man ersieht daraus, dafs es unsichtbare Kräfte giebt." Dafs auch der menschliche Körper wie die Lanze diese eigentümliche Wirkung fortzuleiten vermag, ist zwar eine Entdeckung der neueren Zeit, doch erwähnt Aelian, dafs selbst Betäubung eintritt, wenn man Wasser aus einem Gefäfs, in welchem sich ein Zitterrochen befindet, auf die Hand oder den Fufs giefst[3]).

---

1) Oppian, de piscat. 2,43.
2) Plinius, 32,1 u. 2.
3) Aelian, 9,14.

Erfreute sich die Physik im Altertum wenigstens auf einigen ihrer Gebiete schon einer wissenschaftlichen Behandlung, so war dies bezüglich der Chemie noch nirgends der Fall. Hier konnte ein Einblick in das Wesen der Erscheinungen nur auf Grund zahlreicher zielbewufster Experimente erlangt werden, und einer solchen Forschungsrichtung erwies sich die ältere Periode wenig geneigt. Was wir über die Anfänge der Chemie berichten können, ist nichts weiter, als dafs man durch die Gewerbe, insbesondere den Hüttenbetrieb, mit einer Anzahl von chemischen Vorgängen bekannt wurde, ohne dafs es gelang, eine Verknüpfung derselben untereinander oder mit anderen Gruppen von Erscheinungen zu finden. Alle Erklärungen, die man für das stoffliche Entstehen und Vergehen aufstellte, hatten nur den Wert blofser Philosopheme, zu deren Prüfung man kein Mittel besafs. Am meisten Einflufs auf die weitere Beschäftigung mit chemischen Dingen hat wohl jene aristotelische Lehre gehabt, welche die Welt auf einen einzigen Urstoff zurückführte, der sich den Sinnen in vier Erscheinungsformen, als Feuer, Erde, Luft und Wasser, offenbaren sollte. Im Einklang mit dieser Lehre stand auch das gegen den Ausgang des Altertums sich bemerkbar machende Streben, unedle Metalle in edle zu verwandeln, ein Problem, das während des ganzen Mittelalters von den Alchemisten als Ziel und Zweck der Chemie betrachtet wurde.

Ohne Zweifel war man in Ägypten mit chemischen Vorgängen weit früher vertraut als in Griechenland. Die Glasbereitung, deren Erfindung man mit Unrecht den Phöniziern zugeschrieben hat, wurde in Ägypten schon in den ältesten Zeiten geübt. Auf den Denkmälern von Beni Hassan[1]) finden wir Glasbläser in voller Thätigkeit abgebildet. Als Materalien wurden Sand, Soda, Muschelschalen, Braunstein etc. verwendet. Von sonstigen chemisch-technischen Gewerben wurde die Töpferei unter Anwendung von Emaille, sowie die Färberei mit Benutzung des Alauns als Beize ausgeübt. Als Mineralfarben gebrauchte man Zinnober und Eisenoxyd, wie sie die Natur darbietet. Mennige, Bleiweifs und Kienrufs wurden künstlich hergestellt.

In besonders hohem Grade war die Metallurgie entwickelt. Gold, Silber, Kupfer und Eisen wurden aus den Erzen gewonnen oder, soweit sie gediegen vorkamen, ausgeschmolzen. Blei, das gleich dem Eisen sich nur selten als solches findet und aus Blei-

[1]) Etwa 1800 v. Chr. entstanden.

glanz dargestellt wurde, fand im alten Rom zu Wasserleitungsröhren ausgedehnte Verwendung. Zinn und Zink waren wahrscheinlich nicht in reinem Zustande, sondern nur in Legierungen bekannt; diese wurden erhalten, indem man Zinnstein oder Galmei den Kupfererzen bei ihrer Verhüttung zusetzte. Auch die Gewinnung des Quecksilbers durch Zusammenschmelzen von Zinnober und Eisen war schon im Altertum gebräuchlich.

Die Darstellung von chemischen Präparaten, soweit sie nicht durch blofse Oxydation entstehen, war kaum möglich, solange man sich noch nicht im Besitz der Mineralsäuren befand. Mit der Darstellung derselben waren die Alten jedoch noch nicht vertraut. Die einzige ihnen bekannte Säure war eine organische, nämlich die Essigsäure.

Die Thatsache, dafs Marmor und Kalkstein beim Glühen eine neue Substanz liefern, die mit Wasser in Verbindung gebracht ein vorzügliches Baumaterial abgiebt, wufste man indes wohl zu verwerten. In der späteren Römerzeit finden wir auch Cement in Anwendung, ohne den manches gewaltige Bauwerk nicht ausführbar gewesen wäre.

Wir haben uns bisher diejenige Periode in ihren Grundzügen vergegenwärtigt, in welcher die ersten Keime der Wissenschaft entstanden, eine Periode, welche in der zusammenfassenden, systematisierenden Thätigkeit des Aristoteles ihren Höhepunkt erreichte. Frühzeitig traten uns geistige Regungen in den ionischen Kolonien entgegen, wo die Berührung des Griechentums mit der älteren orientalischen Kultur besonders innig war. Zu Hauptsitzen der Wissenschaft wurden darauf Athen und die blühenden Städte Unteritaliens, dort durch Aristoteles und seine Schule, hier durch die Pythagoreer und Archimedes. In beiden Fällen hatte das Emporblühen von Handel und Gewerbe zuerst einen gewissen Wohlstand und eine Erweiterung des geistigen Horizontes geschaffen.

Wie Alexander durch seine gewaltige Machtentfaltung die Welt, so hatte Aristoteles das gesamte Wissen seiner Zeit zu umspannen gesucht. Zu einer dauernden Beherrschung der übrigen Völker waren die Griechen indessen nicht imstande; mit dem Tode des grofsen Eroberers zerfiel auch sein Reich. Anders gestalteten sich die Dinge auf dem Gebiete der Wissenschaft; hier kann wohl vor einer dauernden Herrschaft der Griechen die Rede sein. Sie wurden die Lehrer der alten Völker, während gleichzeitig Rom die letzteren unterjochte. Die Blütezeit des Griechentums auf dem

Gebiete der Kunst, insbesondere demjenigen der Dichtkunst, war zwar längst vorüber, umso mächtiger entfaltete dafür der wissenschaftliche Geist seine Schwingen.

Während des nationalen und wirtschaftlichen Niederganges, der sich in dem Mutterlande selbst gegen den Beginn unserer Zeitrechnung bemerkbar machte, wurde das Griechentum, insbesondere das gelehrte, kosmopolitisch. Der Sitz griechischer Weisheit wurde nach Alexandrien verlegt, welches durch günstige Lage, durch seinen Reichtum, sowie das geistige Interesse, welches die ägyptischen Herrscher bekundeten, geeignet war, die weitere Pflege der Wissenschaften zu übernehmen.

Die Herrschaft über Ägypten war nach dem Tode Alexanders in die Hände des Ptolemäos Lagi übergegangen. Dieser Fürst, dessen Geschlecht den ägyptischen Thron inne hatte, bis im Jahre 30 v. Chr. das Land römische Provinz wurde, zog eine grofse Zahl von griechischen Gelehrten, insbesondere aus Athen, an seinen Hof. Er wurde dadurch der Begründer der alexandrinischen Schule, welche berufen war, die Fackel der Wissenschaft nahezu ein Jahrtausend hochzuhalten. Die äufseren Einrichtungen für jene gelehrte Körperschaft fanden ihre Vollendung durch Ptolemäos Philadelphos (284—247 v. Chr.). Dieser Monarch errichtete ein prächtiges Gebäude, welches den Gelehrten Wohnungen und Räume zur Ausübung ihrer Thätigkeit bot; auch gründete er die berühmte alexandrinische Bibliothek. Letztere blieb bis in das Mittelalter hinein erhalten, in dessen Stürmen sie endlich unterging.

Fast sämtliche Gelehrte der alten Zeit, von denen jetzt noch die Rede sein wird, gehörten entweder der alexandrinischen Akademie an, oder sie haben in mehr oder weniger enger Fühlung mit derselben gestanden. Auf mehrere hervorragende Mitglieder und ihre grundlegende Thätigkeit wurde schon Bezug genommen, so auf die Ermittelung des Erdumfanges durch Eratosthenes und die Verdienste des Ptolemäos um die Optik. Im allgemeinen ist das Wirken dieser Männer indes nicht mehr grundlegend, sondern auf die Erhaltung und die Fortentwicklung aller während des Altertums gewonnenen Keime gerichtet gewesen. Ihre Arbeiten betrafen dementsprechend nicht nur die Mathematik und die Naturwissenschaften, sondern das ganze Gebiet des damaligen Wissens, von der Philosophie und anderen Gebieten des reinen Denkens bis zu der Beschäftigung mit den konkretesten Dingen, gehörte zu ihrem Bereich. Häufig beschränkten sie sich auf ein blofses Kommentieren der vorhandenen Schriften, wie es bezüglich der

Zoologie und der Botanik der Fall war. Wo aber das deduktive Verfahren Anwendung finden konnte, wie auf dem Gebiete der reinen Mathematik, fand eine rasche Fortentwicklung der übermittelten Keime statt.

Zu den frühesten Mitgliedern der alexandrinischen Schule gehört Euklid, dessen Name eng mit der Geschichte der Mathematik verbunden ist, einer Wissenschaft, welche nicht etwa erst in der neueren Zeit, sondern auch schon im Altertum in hohem Grade das Emporblühen der Naturwissenschaften bedingt hat. Die Lebensumstände des Euklid sind wenig bekannt; schon bezüglich seines Geburtsortes, sowie seines Studienganges schwanken die Angaben. Sicher ist, dafs Euklid zu Beginn der Ptolemäerzeit, also um 300 v. Chr. in Alexandrien gelebt hat. Dem Ptolemäos Lagi gegenüber, welcher das mathematische Studium erleichtert zu sehen wünschte, soll er den bekannten Ausspruch: „Es giebt keinen Königsweg zur Mathematik“, gethan haben. Unter den auf uns gekommenen Werken des Euklid[1]) nehmen die „Elemente der Geometrie“ den ersten Platz ein. Sie wurden wegen ihrer Vollständigkeit und Strenge der Beweisführung in solchem Grade als mustergültig anerkannt, dafs sie bis in die neueste Zeit hinein von manchen Seiten dem Anfangsunterricht zu Grunde gelegt wurden. In seine „Elemente“ hat Euklid das ganze damals bekannte mathematische Wissen aufgenommen und dasselbe, wo es bis dahin noch nicht geschehen war, auf strenge Beweise gestützt. Dementsprechend umfafst das Werk die Geometrie der Ebene und des Raumes und geht auch auf die Lehre von den Zahlen, als der Grundlage alles Messens, ein.

Der bedeutendste Nachfolger Euklids unter den alexandrinischen Mathematikern war Apollonios von Pergä, der sich besonders um die Begründung der Lehre von den Kegelschnitten verdient gemacht hat. Die Namen Ellipse, Parabel, Hyperbel sollen von ihm herrühren. Apollonios zeigte, wie diese Kurven auf der Oberfläche eines Kegels entstehen, wenn durch denselben Ebenen gelegt werden. Auch das schwierige Gebiet der Asymptoten, die sich den Ästen der Hyperbel nähern, ohne sie zu schneiden, hat Apollonios zuerst betreten[2]).

Mit der Lehre von den Kegelschnitten wurde für die spätere

[1]) Eine eingehende Analyse derselben giebt Cantor in seiner Geschichte der Mathematik. 1880. Bd. I. S. 221—252.

[2]) Des Apollonios Schrift über die Kegelschnitte wurde 1861 in deutscher Bearbeitung von H. Balsam herausgegeben.



Entwicklung der Astronomie und der Mechanik eine wichtige Grundlage geschaffen. Dasselbe gilt auch von der Trigonometrie, welche unmittelbar aus den Bedürfnissen der Astronomie entsprang und von Hipparch und Ptolemäos begründet wurde. Bekanntlich konnte Aristarch, als er den Sonnenabstand aus gegebenen Stücken eines Dreiecks berechnete, die gesuchte Gröfse nur auf umständlichem Wege durch Näherungswerte bestimmen. Ähnliche Schwierigkeiten boten vor Hipparch zahlreiche Aufgaben dar. Letzterer entwarf daher als erstes trigonometrisches Hülfsmittel eine Sehnentafel, indem er für die Winkel im Kreise den Wert der zugehörigen Sehnen in Teilen des Halbmessers ausdrückte. Diese Tafel, deren Berechnung sehr mühsam war, wies im Anfang bedeutende Lücken auf, welche man indes durch Interpolation auszufüllen suchte. Erst von Ptolemäos wurden die Sehnen aller Winkel von $0^0$—$180^0$, nach halben Graden fortschreitend, mit hinreichender Genauigkeit bestimmt. Diese Tafel, welche einen wesentlichen Teil des $1^1/_2$ Jahrtausende die Astronomie beherrschenden Ptolemäischen Werkes ausmachte, hat während der genannten Zeit den Astronomen an Stelle unserer heutigen trigonometrischen Tabellen grofse Dienste geleistet.

Aus den vorerwähnten bedeutenden Fortschritten, welche die Mathematik erfuhr, zog unter allen Wissenschaften die Astronomie den gröfsten Nutzen. Es beginnt für sie die Periode des messenden und systematischen Beobachtens; und wenn das Ergebnis derselben auch noch nicht in der richtigen Erkenntnis des Weltsystems bestand, so gelangte man doch zur klaren Auffassung vieler nur vermöge exakter Messung wahrnehmbarer Erscheinungen. Vor allen Dingen waren es die Alexandriner Hipparch und Ptolemäos, welche als die Väter der astronomischen Wissenschaft dieselbe Bedeutung besitzen, die Aristoteles und Archimedes hinsichtlich der Zoologie und der Mechanik zugeschrieben werden mufs.

In dem ersten Entwicklungsstadium der Astronomie hatte man sich darauf beschränkt, die Stellung der wichtigeren Fixsterne dadurch festzulegen, dafs man dem Himmel gewisse Figuren einzeichnete. Mitunter brachten diese Sternbilder auch äufserliche Ähnlichkeiten der Gruppen zum Ausdruck, wie z. B. beim Wagen, von dem schon Homer sagt, dafs er „niemals in Okeanos' Bad sich hinabtaucht“ [1]). In den Beginn des alexandrinischen

[1]) Odyssee V, 273.

Zeitalters fällt nun der Versuch einer genaueren, durch Winkelmessung vermittelten Ortsbestimmung der wichtigsten Fixsterne Man bezog die Stellungen derselben auf die Punkte, in denen die Sonnenbahn den Himmelsäquator schneidet und bestimmte bei einer gröfseren Anzahl auch den Abstand vom Äquator bis auf den Bruchteil eines Grades. Ein solches Fixsternverzeichnis, welches etwa 150 Angaben umfafste, befand sich in den Händen des Hipparch, als plötzlich im Jahre 134 v. Chr. eines der seltensten astronomischen Ereignisse, nämlich das Auftauchen eines neuen Sternes erster Gröfse, eintrat[1]). Bot somit die Fixsternregion, welche Aristoteles als den Ort des unwandelbaren Seins bezeichnet hatte, derartige plötzliche Veränderungen dar, so mufste sich in den Astronomen der Wunsch nach einer genauen Topographie des Himmels regen, um auf solche Weise späteren Zeiten eine stete Kontrolle zu ermöglichen. In den auf jenes Ereignis folgenden Jahren bestimmte deshalb Hipparch mehr als tausend Sternörter. Er löste dadurch nicht nur die gestellte Aufgabe, sondern machte aufserdem die wichtige Entdeckung, dafs der Frühlingspunkt seine Lage langsam ändert. Für einen der hervorragendsten Sterne des Tierkreises, die Spica in der Jungfrau nämlich, ergab sich, dafs derselbe $6^0$ vom Frühlingspunkte entfernt war, während der 150 Jahre früher gemessene Abstand $8^0$ betrug[2]). Die Breite der Fixsterne war dagegen dieselbe geblieben. Dieses Vorrücken des Frühlingspunktes[3]) glaubte Hipparch aus seinen und den älteren Beobachtungen auf mindestens einen Grad für 100 Jahre also auf 36″ für das Jahr ansetzen zu dürfen, während es in Wahrheit 50″ beträgt.

Auch dafs die Erde sich in der Sonnennähe schneller bewegt als in der Sonnenferne, wurde gleichfalls von Hipparch entdeckt, wenn er auch diese Bewegung auf die Sonne übertrug, an der sie ja nur scheinbar vor sich geht. Da man im Altertum an der

---

[1]) Der neue Stern trat, wie auch aus chinesischen Berichten hervorgeht, im Sternbilde des Skorpions auf.

[2]) Nach den Angaben von Aristyll und Timocharis. Siehe Seite 17 ds. Bds.

[3]) Dasselbe erklärt sich daraus, dafs die Erdachse innerhalb eines Zeitraums von 10000 Jahren einen Kegelmantel beschreibt. Infolgedessen ändert der Himmelsäquator, welcher sich als eine Projektion des Erdäquators darstellt, gleichfalls seine Lage innerhalb derselben Periode. Dieser Vorgang wird als Präcession oder Vorrücken der Nachtgleichen bezeichnet, weil dabei der Frühlings- und der Herbstpunkt langsam ihren Ort im Sinne der täglichen Umdrehung ändern.

aristotelischen Voraussetzung festhielt, dafs die Bewegung der Himmelskörper gleichförmig und im Kreise erfolge, so erklärte Hipparch die beobachtete Erscheinung aus der Epicyklentheorie, indem er die Sonne einen Kreis durchlaufen liefs, dessen Mittelpunkt sich auf einem gröfseren um die Erde gespannten Kreise fortbewegen sollte. Die genauere Erforschung der scheinbaren Sonnenbewegung führte Hipparch ferner zu der Entdeckung, dafs die Länge des Jahres, d. h. der Zeit zwischen zwei Durchgängen des Sonnencentrums durch den Frühlingspunkt, nicht, wie vor ihm angenommen, $365^1/_4$ Tage beträgt, sondern etwas kürzer ist[1]). Eine schärfere Bestimmung der Mond- und Planetenbewegungen, wie sie am Himmelsgewölbe vor sich zu gehen scheinen, hat Hipparch gleichfalls in Angriff genommen. Die befriedigende Lösung dieser Aufgabe gelang jedoch erst Ptolemäos, dessen Bedeutung für die astronomische Wissenschaft späterer Würdigung vorbehalten bleibt.

Auch das durch die Zahlenmystik der Pythagoräer angeregte, von Aristarch behandelte Problem, die Entfernung und die Gröfse der Himmelskörper zu bestimmen, beschäftigte Hipparch. Behufs der Lösung desselben führte er den Begriff der Parallaxe ein, worunter er den Winkel versteht, unter welchem der Erdhalbmesser von dem Gestirne aus erscheint, dessen Abstand gemessen werden soll. Seine Bestimmungen ergaben für die Entfernung des Mondes 59 Erdhalbmesser, ein Wert, welcher der Wahrheit nahekommt[2]), während die von ihm herrührenden Werte für die Entfernung und die Gröfse der Sonne von der Wirklichkeit erheblich abweichen.

Die geschilderten Fortschritte der Astronomie trugen dazu bei, dafs auch die Geographie einen wissenschaftlichen Charakter erhielt. Dies sprach sich vor allem darin aus, dafs sie sich der astronomischen Ortsbestimmung zu bedienen anfing. Bis dahin waren die geographischen Karten blofse Itinerarien gewesen, d. h. auf Grund der von den Reisenden angegebenen Wegelängen und der eingeschlagenen Himmelsrichtung entworfen worden. Hipparch führte nun die Bestimmung nach geographischer Länge und Breite ein. Als Anfangsmeridian wählte er denjenigen, welcher die Insel

---

1) Hipparch nahm die Dauer des tropischen Jahres zu 365 Tagen 5 Stunden 55′ an, während sie in Wahrheit 365 Tage 5 Stunden 48′ 51″ beträgt.

2) Die mittlere Entfernung zwischen den Mittelpunkten von Mond und Erde beträgt 60,27 Halbmesser des Erdäquators oder 384400 km.



Rhodos schneidet, wo er einen Teil seiner Beobachtungen angestellt hatte. Während die Breite, nachdem man den Zusammenhang derselben mit der Polhöhe erkannt, leicht bestimmt werden konnte, machte die Feststellung der Länge Schwierigkeiten, welche noch im Zeitalter Newtons lebhaft empfunden und erst durch die immer weiter gehende Vervollkommnung der Chronometer gehoben wurden. Auch Hipparch brachte eine Art von chronometrischem Verfahren in Vorschlag. In der Voraussetzung, dafs der Eintritt einer Himmelserscheinung, z. B. einer Mondfinsternis, von allen Bewohnern eines Erdteils in demselben Momente gesehen wird, sollte die Zeit des Eintritts für verschiedene Orte festgestellt und aus dem Zeitunterschied die Differenz der Länge berechnet werden.

Während so die Astronomie und die Geographie sich mächtig entwickelten und bald nach Beginn der christlichen Zeitrechnung innerhalb derselben alexandrinischen Schule durch Ptolemäos eine zweite Blütezeit erlebten, schien die Mechanik nach den hoffnungsvollen Anfängen, welche man dem Archimedes verdankte, zum Stillstande verurteilt zu sein, obgleich sich auch diese Wissenschaft für die Anwendung des durch die Mathematik gebotenen deduktiven Verfahrens so sehr eignete. Abgesehen von der Schwerpunktsbestimmung körperlicher Gebilde [1]) — Archimedes hatte sich hierbei auf Flächen beschränkt — machte die theoretische Mechanik keine wesentlichen Fortschritte. Um so mehr war man aber während der alexandrinischen Epoche auf die Fortbildung der praktischen Mechanik bedacht. Man versah z. B. die Wasseruhren mit einer Zeigervorrichtung und erfand die Feuerspritze [2]). Letztere besafs, nach einem im vorigen Jahrhundert aufgefundenen, aus der römischen Kaiserzeit herrührenden Exemplar [3]) zu urteilen, schon im Altertum eine im wesentlichen der heutigen entsprechende Einrichtung. Auch gewann man damals einige Kenntnis von der Natur der Gase und Dämpfe. Besonderen Ruhm auf diesem Gebiete erlangte Heron von Alexandrien, dessen Name noch heute in einem bekannten Apparat unserer physikalischen Kabinette, dem Heronsball, fortlebt. Herons Blütezeit fällt wahrscheinlich um das Jahr 100 v. Chr. Seine „Pneumatik" ist das erste auf uns gelangte

---

[1]) Durch den Alexandriner Pappos, welcher im 3. oder 4. Jahrhundert n. Chr. lebte und als der eigentliche Entdecker der Guldin'schen Regel zu betrachten ist.

[2]) Die Erfindung der Feuerspritze wird dem Ktesibios (um 150 v. Chr. geboren) zugeschrieben. Siehe Vitruvius, de architectura, X, 7.

[3]) 1795 in der Nähe von Civita Vecchia ausgegraben.

Werk [1]), welches sich mit Versuchen über die Eigenschaften der Luft und der gespannten Dämpfe beschäftigt. Es beschreibt eine grofse Anzahl von Apparaten, welche durch erwärmte Luft oder Dampf in Bewegung gesetzt werden. Handelt es sich auch zum Teil um physikalische Spielereien, so begegnet uns doch manches, was den Anstofs zu späteren Erfindungen gegeben hat. Insbesondere gilt dies von einem Apparat, bei welchem der Dampf in derselben Weise einen Körper in drehende Bewegung versetzt, wie es das ausströmende Wasser bei den Reaktionsrädern bewirkt. Die Maschine Herons (siehe Fig. 5) besteht aus einem Kessel A, von dem zwei senkrechte Röhren a ausgehen [2]). Zwischen letzteren befindet sich eine drehbare Hohlkugel c mit zwei Ansätzen $\alpha$ $\alpha$, aus welchen der in die Hohlkugel geleitete Dampf in tangentialer Richtung entweicht. Dadurch wird die Kugel in Drehung versetzt. Was die Natur der Luft betrifft, so meint Heron, dafs sie aus Teilchen bestehe, welche durch leere Zwischenräume getrennt seien. Dies beweise zumal der Umstand, dafs sich Luft in eine Kugel zu der darin vorhandenen füllen lasse, was darauf beruhe, dafs die neuen Luftteilchen an Stelle der leeren Räume treten. Wolle man annehmen, dafs die Luft den vorhandenen Raum ganz ausfülle, so würde eine Kugel beim Hineinbringen eines weiteren Luftquantums platzen müssen.

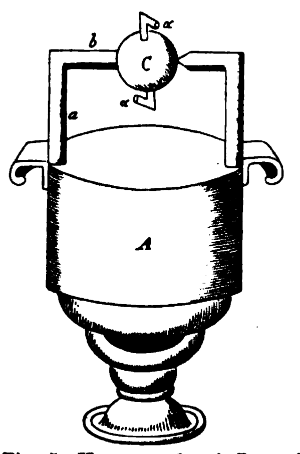


Fig. 5. Herons durch Dampf getriebene Maschine.

Während man sich in den unserer Zeitrechnung vorangehenden Jahrhunderten in der Stille des alexandrinischen Gelehrtentempsels die Welt zu erkennen mühte, hatte man von einem anderen Punkte aus begonnen, sie durch die Gewalt der Waffen zu unterjochen. Griechenland war schon seit länger als einem Jahrhundert römische Provinz geworden, als im Jahre 30 v. Chr. Ägypten dasselbe Schicksal ereilte. Die politische Umgestaltung dieses Landes vollzog sich jedoch allmählich, da der römische Einflufs sich schon lange vor jenem Zeitpunkt in stetig wachsendem Mafse geltend gemacht hatte. Diese Umgestaltung war daher auch

[1]) The Pneumatics of Hero of Alexandria from the original greek. Translated by B. Woodcroft. London 1851.

[2]) Gehler, Physikalisches Wörterbuch. Bd. II. Tab. XI. Fig. 123.

für die Wissenschaften nicht von solch einschneidender Bedeutung wie später das Hereinbrechen barbarischer, fanatisierter Elemente. In dem Mafse wie die Römer das dem Osten sein geistiges Gepräge verleihende Griechentum politisch überwanden, nahmen sie den Inhalt der griechischen Bildung in sich auf. Sie wurden zwar die Herren, aber auch zugleich die Schüler der Griechen- Meister sind sie auf dem Gebiete der Kunst und Wissenschaft indes niemals geworden. Weit eher entsprach ihrem ganzen Sinne sowie ihren Bedürfnissen eine Fortentwicklung der Technik. Auf diesem Gebiete haben sie, wie die imponierenden Überreste ihrer Werke noch heute bezeugen, die Griechen zweifelsohne übertroffen. Dennoch erfuhr die wissenschaftliche Grundlage einer auf das Bauwesen gerichteten Technik, die Mechanik nämlich, durch die Römer keinen wesentlichen Fortschritt. Wurde auch während der Kaiserzeit Rom, nachdem es zum politischen Mittelpunkt der Welt geworden, neben Alexandrien mehr und mehr zu einem Sitz der Wissenschaften, so kann man doch von einem römischen Zeitalter derselben nicht sprechen. Darüber, sich die Elemente der griechischen Bildung anzueignen, sind die Römer kaum hinausgekommen, während gleichzeitig ein neuer bedeutender Aufschwung in dem römisch gewordenen Alexandrien die ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung ausfüllte.

Es sind manche Vermutungen darüber ausgesprochen worden, weshalb die Römer das von den Griechen begonnene Werk nicht fortgesetzt haben, sodafs auf die Begründung der Wissenschaften unmittelbar der weitere Ausbau derselben gefolgt wäre. Die einen erblicken die Ursache dieser Erscheinung in dem Mangel eines induktiven experimentellen Verfahrens, obgleich doch, wie wir sahen, die Ansätze zu einem solchen in der Blütezeit der alexandrinischen Periode vorhanden waren. Andere meinen, die Römer, welche zwar die berufenen Erben der Griechen gewesen seien, hätten bei ihrer Aufgabe, die Welt zunächst zu erobern und dann zu beherrschen, keine Zeit und kein Interesse für die Beschäftigung mit wissenschaftlichen Dingen besessen. Auch den Mangel an Werkzeugen für wissenschaftliche Arbeit, wie sie die neuere Zeit in Fülle hervorbrachte, hat man dafür verantwortlich machen wollen, dafs die Wissenschaft nach ihrer Begründung keine unmittelbare Fortsetzung gefunden.

Die Einflüsse, welche die in Frage stehende sowie ähnliche Erscheinungen in der Entwicklung der Kultur und des Geisteslebens herbeigeführt haben, sind für uns, die wir solch entlegene

Perioden durch ein sehr getrübtes Medium erblicken, nicht mehr scharf erkennbar. Jedenfalls haben hier nicht eine oder einige der genannten Ursachen mitgespielt, sondern es hat ein Zusammenwirken zahlreicher Umstände stattgefunden. Die Anlagen, welche auch bei nahe verwandten Völkern nicht immer die gleichen sind, sowie die Macht der politischen und der religiösen Verhältnisse werden jedenfalls hierbei in erster Linie den Ausschlag gegeben haben.

Das umfassendste Denkmal von dem Wissen der Römer besitzen wir in der „Naturgeschichte" des Plinius. Dieses Werk enthält zahlreiche Angaben, welche ohne die gewissenhafte Aufzeichnung des römischen Ritters verloren gegangen wären.

Cajus Plinius Secundus Major wurde im Jahre 23 n. Chr. zu Como geboren. Obgleich er sich dem Kriegshandwerk gewidmet hatte und später, als er unter Nero und Vespasian höhere Ämter bekleidete, stets im Drange der Geschäfte lebte, fand dieser merkwürdige Mann doch Mufse, das gesamte Wissen seiner Zeit in einem Sammelwerke zu vereinigen. In der an Vespasian gerichteten Widmung konnte er von seinem Unternehmen mit Recht sagen: „Der Weg, den ich wandeln werde, ist unbetreten; keiner von uns, keiner von den Griechen hat es unternommen, allein das Ganze der Natur zu behandeln. Gelingt mir mein Unternehmen nicht, so ist es doch schön und grofsartig, danach gestrebt zu haben."

Aus nicht weniger als 2000 Werken hat Plinius das Material für die „Naturgeschichte" geschöpft. Seine Arbeitskraft ist zu bewundern, zumal er dieselbe nur in den Stunden, welche ihm die Geschäfte übrig liefsen, also besonders, wie er selbst erzählt, zu nächtlicher Zeit auf das Werk verwenden konnte. Ohne seine Mühe würde die Nachwelt von der Mehrzahl der benutzten Schriften keine Kenntnis besitzen. Doch mufs andererseits bemerkt werden, dafs Plinius sich nicht auf die Stufe selbständigen Forschens und Denkens erhebt. Ja, es zeigt sich, dafs er manches bringt, was er offenbar nicht einmal genügend verstanden hat. Da er meist kritiklos verfährt, wird oft Wahres und Falsches von ihm ohne Besinnen miteinander vermengt. Man gewinnt den Eindruck, dafs Plinius sein Wissen nirgends aus der Natur, sondern nur aus Büchern geschöpft hat, was bei einem Manne, der einen Spaziergang als Zeitvergeudung betrachtete, nicht Wunder nehmen kann.

Bekannt ist das tragische Ende des Plinius. Als er sich mit einer von ihm befehligten Flotte im Jahre 79 n. Chr. in der Nähe von Neapel aufhielt, begann plötzlich jener furchtbare

Ausbruch des Vesuv, durch den Herculanum und Pompeji vernichtet wurden. Der unerschrockene Römer liefs sich nicht abhalten, der Stätte des Verderbens zuzueilen, sei es, dafs ihn Pflichtgefühl oder Wifsbegierde dazu antrieben. Nach der Landung ist er dann wahrscheinlich der Wut der entfesselten Elemente zum Opfer gefallen.

Von dem Werke des Plinius, welches sein Neffe Plinius Minor „ein weitläufiges, gelehrtes und nicht minder mannigfaches Werk wie die Natur selbst“ nennt, sowie von dem darin obwaltenden Bestreben hat schon der 4. Abschnitt des I. Bandes eine Probe geliefert. Hier erübrigt noch, wenigstens einige bemerkenswerte Punkte zu erwähnen, da von einer eingehenderen Behandlung des Umfangs und der Mannigfaltigkeit des Inhalts wegen keine Rede sein kann[1]).

Zu der Lehre von der Kugelgestalt der Erde ist die Ansicht getreten, dafs das Menschengeschlecht viel weiter verbreitet sei, als man früher glaubte, ja, dafs es Antipoden geben müsse. „Die Wissenschaft und die Meinung des grofsen Haufens“ sagt Plinius[2]), befinden sich in gewaltigem Widerspruch. Jener zufolge wird die Erde ringsum von Menschen bewohnt, sodafs sie mit den Füfsen gegeneinander stehen und den Himmel alle gleichmäfsig über dem Scheitel haben. Nach der anderen fragt man, warum denn die Antipoden nicht abfielen. Als ob nicht die Gegenfrage zur Hand wäre, warum jene sich nicht verwundern, dafs wir nicht abfallen. Am meisten aber sträubt sich der grofse Haufe, wenn man ihm glaublich machen will, dafs auch das Wasser gewölbt sei, und doch ist nichts augenfälliger, denn überall bilden hängende Tropfen sich zu kleinen Kugeln.“

Dem Monde und sogar den Fixsternen, denen wir heute keine nachweisbaren Einflüsse auf irdische Vorgänge beimessen, schrieb das Altertum, wie wir aus der Naturgeschichte des Plinius ersehen, solche zu. So heifst es dort[3]): „Dafs mit dem Aufgang des Hundes, dessen Einflufs auf der Erde in der weitesten Ausdehnung empfunden wird, die Wärme der Sonne sich verstärkt, wer wüfste das nicht? Bei seinem Aufgang schäumt das Meer, der Wein wird unruhig in den Kellern und die Sümpfe beginnen zu gären.“

---

[1]) Eine Zusammenstellung der chemischen Kenntnisse des Plinius gab neuerdings E. O. v. Lippmann. Siehe Naturw. Rundschau, Bd. IX. 1894.

[2]) Plinius Naturgeschichte, II. 65.

[3]) Plinius Naturgeschichte, II. 40.

Dafs der Mond bei der Erregung von Ebbe und Flut eine wichtige Rolle spielt, hatte man damals wohl erkannt, doch erklärte man die Erscheinung in einem durchaus mystischen Sinne, indem man den Mond als das Gestirn des Odems ansah, bei dessen Annäherung sich alle Körper füllen sollten. So behauptet Plinius, um seine Leser in dieser Ansicht zu bestärken, dafs bei zunehmendem Monde die Muscheln gröfser würden; ja auch das Blut im menschlichen Körper mehre und mindere sich wie das Licht dieses Gestirns[1]. „Ebbe und Flut des Meeres,“ sagt er, „haben bei aller Abwechslung doch ihre Ursache nur in der Sonne und dem Monde. Indessen treten die Gezeiten nie wieder zu derselben Stunde ein, wie Tags zuvor, weil sie dem gierigen Gestirn, das alle Tage an einer anderen Stelle aufgeht, gewissermafsen dienstbar sind. Bei Vollmond ist die Flut am heftigsten. Auch tritt die Flut zwei Stunden später ein, als sich der Mond aus der Mittagslinie abwärts senkt, da die Wirkung aller Erscheinungen am Himmel später zur Erde gelangt, als die Erscheinung selbst stattfindet. Die offene grofse Fläche des Meeres empfindet die Macht des weithin wirkenden Gestirnes nachdrücklicher als engbegrenzte Räume, daher werden auch weder Seeen noch Flüsse auf solche Weise in Bewegung versetzt[2].“

Auf dem Gebiete der beschreibenden Naturwissenschaften finden wir bei Plinius einen entschiedenen Rückgang gegen Aristoteles und Theophrast. Manche zoologische Mitteilung älterer Schriftsteller, welche Aristoteles in das Gebiet der Fabel verwiesen hatte, nimmt Plinius unbeanstandet wieder auf. Von einem systematischen Aufbau der Zoologie und Botanik ist bei ihm nicht die Rede; ja bezüglich der letzteren Wissenschaft steht er noch hinter Theophrast zurück, indem er für die Einteilung der Pflanzen den reinen Nützlichkeitsstandpunkt vertritt. Dieselben werden nämlich als Arzneipflanzen, Specereien etc. unterschieden. Eine richtige Auffassung finden wir bei Plinius bezüglich der von Aristoteles „Blutlose“ genannten Tiere. „Dafs die Insekten kein Blut haben“, sagt er[3], gestehe ich zu, „doch besitzen sie dafür eine gewisse Lebensfeuchtigkeit, die für sie Blut ist.“

Ein Vorzug war es, dafs man sich während der Römerzeit über die Skrupel hinwegsetzte, welche bis dahin von einem Eindringen in den Bau und die Verrichtungen des menschlichen

[1]) A. a. O. II, 99.
[2]) A. a. O. II, 97.
[3]) A. a. O. XI, 3.

Körpers abgehalten hatten. Schon bald nach Aristoteles, dessen anatomisches Wissen, wie wir sahen, wenigstens in Bezug auf den Menschen, noch gering war, unterschied man Arterien und Venen. Auch bemerkte man, dafs die Verzweigungen derselben dicht neben einander liegen. Da man die Arterien jedoch beim Zerschneiden des toten Körpers leer fand, so glaubte man, dafs es ihre Aufgabe sei, im lebenden Organismus Luft zu führen[1]). Zu einer noch mit vielen Unrichtigkeiten durchsetzten Vorstellung von der Bewegung des Blutes, deren wahren Verlauf erst Harvey im 17. Jahrhundert erkannte, gelangte der römische Arzt Galen (131—200 n. Chr.). Galen hatte seine Ausbildung in Griechenland empfangen, übte aber die ärztliche Kunst in Rom aus und hielt daselbst auch Vorlesungen über Anatomie. Die Bewegung des Blutes schildert er, wie folgt, wobei wir uns der heutigen Ausdrücke bedienen wollen[2]): Durch die Venen gelangt das Blut zum rechten Teil des Herzens. Mittelst der Wärme des Herzens werden die noch brauchbaren Teile von den unbrauchbaren geschieden. Die letzteren werden durch die Lungenarterie zu den Lungen geführt und beim Ausatmen entfernt, während gleichzeitig die Lungen Pneuma aus der Atmosphäre anziehen[3]). Dieses gelangt durch die Lungenvenen zum linken Herzen, verbindet sich hier mit dem durch die Herzscheidewand getretenen Blute, wird alsdann durch die Aorta in alle Teile des Körpers und endlich durch die Kapillargefäfse in die Venen geführt. Von dem grofsen Kreislauf des Blutes hatte Galen also eine im ganzen richtige Vorstellung, während ihm unbekannt blieb, dafs die ganze Masse des Blutes nach Vollendung dieses Kreislaufs durch die Lungen getrieben wird. An die Stelle einer richtigen Auffassung der Atmung und der animalischen Wärme, welche erst durch die fortschreitende Einsicht in den chemischen Prozefs ermöglicht wurde, tritt bei Galen das mystische Pneuma. Darunter dachte man sich nicht die Luft selbst, sondern ein derselben innewohnendes belebendes Prinzip, aus dem sich alle Materie gebildet haben sollte.

---

1) Die genannten Entdeckungen machte Erasistratus, einer der bedeutendsten Anatomen der vorchristlichen Zeit (geb. 280 v. Chr.), welcher auch den Bau des Gehirns untersucht haben soll. Sein Zeitgenosse Herophilus lieferte eine genaue Beschreibung des Auges.

2) H. Haeser, Lehrbuch der Geschichte der Medizin, Jena 1853. Bd. I. S. 154.

3) Galen meint, dafs man den belebenden Bestandteil der Luft, den er als Pneuma bezeichnet, später noch entdecken werde.

Auch zu einem im ganzen richtigen Verständnis der Muskeln, Sehnen und Nerven war Galen gelangt, durch dessen Thätigkeit die Medizin erst auf die Stufe einer Wissenschaft gehoben wurde. Vor allem war es die Chirurgie, welche aus der gewonnenen Einsicht in den anatomischen Bau des Körpers Nutzen zog. Die Zoologie und die Botanik büſsten dagegen im Vergleich zu der Behandlung, welche ihnen Aristoteles und Theophrast angedeihen lieſsen, an Wissenschaftlichkeit ein und wurden nur noch mit Rücksicht auf das medizinische Bedürfnis gefördert. So entstand, kurz bevor Plinius schrieb, die Arzneimittellehre des Dioskorides. In derselben finden wir etwa 500 Pflanzen behandelt, welche indes so oberflächlich beschrieben sind, daſs es schwer hält, die Arten mit Sicherheit zu erkennen.

Ein ganz besonderes Interesse, welches selbst gekrönte Häupter ergriff, wandte man der Erforschung giftiger Pflanzen zu. König Attalos von Pergamon, so erzählt uns Plutarch[1]), baute giftige Gewächse, wie Bilsenkraut, Nieswurz, Schierling, Sturmhut, und machte ein besonderes Studium daraus, ihre Säfte kennen zu lernen und zu sammeln. Mithridates von Pontus ging so weit, daſs er die Wirkung der Gifte durch Versuche an Menschen feststellte[2]). Förderung der Wissenschaft lieſs sich jedoch von solchen Männern, welche einzig von egoistischen oder verbrecherischen Zwecken geleitet wurden, nicht erwarten, wie auch die Vivisektionen, denen damals Menschen unterworfen wurden, mehr als ein Zeichen des unter der römischen Weltherrschaft immer mehr um sich greifenden moralischen Verfalls als eines ungezügelten Wissensdranges gelten müssen.

In die Zeit der Römerherrschaft fällt, wie schon erwähnt, eine nochmalige Blüteperiode der alexandrinischen Schule. Als ruhmvollster Name leuchtet uns derjenige des Ptolemäos entgegen, mit dessen Verdiensten um die Fortentwicklung der Astronomie und Geographie wir uns jetzt zu beschäftigen haben.

Das Weltsystem Aristarch's war mehr eine glückliche Divination als eine wissenschaftliche That gewesen, denn die heliocentrische Auffassung allein genügte noch nicht, der genaueren Beschreibung der sich am Himmel abspielenden Vorgänge eine sichere Grundlage zu bieten. Das System des Aristarch konnte daher im Altertum keine Geltung finden, zumal es noch an

1) Plutarch, vita Demetrii.
2) Galen XIV, 2. edit. Kühn.

den mechanischen Begriffen fehlte, welche damit in Einklang gebracht werden mufsten. So erhob Ptolemäos den später auch Kopernikus und Galilei gegenüber gemachten, von letzterem aber entkräfteten Einwand, dafs eine Rotation der Erde um ihre Achse die Ablenkung eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers zur Folge haben müsse. Der von Aristoteles herrührende Satz, dafs die Bewegungen der Himmelskörper, weil die letzteren göttlich und ewig seien, gleichmäfsig und im Kreise vor sich gehen müfsten, galt ferner dem Ptolemäos wie dem gesamten Altertum als eine Wahrheit a priori. Zwar hatte es den Anschein, als ob sich die Planeten, sowie die Sonne und der Mond am Fixsternhimmel bald schneller, bald langsamer bewegten; erstere schienen sogar zeitweilig stillzustehen. Schon Plato hatte es deshalb als die wichtigste Aufgabe der Astronomie bezeichnet, diese scheinbar unregelmäfsigen Bewegungen auf gleichförmige zurückzuführen, da, wie er sagte, keine Ursache vorhanden sei, dafs die himmlischen Körper sich anders als gleichmäfsig bewegen sollten. So hatte Hipparch die Erscheinung, dafs die Sonne bei jedem Umlauf durch den Tierkreis ein Maximum und ein Minimum der Geschwindigkeit annimmt, dadurch erklärt, dafs er die Erde aus dem Mittelpunkt der Bahn rückte und die Sonne in gleichförmiger Bewegung einen excentrischen Kreis beschreiben liefs. Die Gröfse der Exentricität liefs sich nun leicht so wählen, dafs damit dem thatsächlichen Verlauf der Erscheinungen Rechnung getragen wurde. Diese Theorie der excentrischen Kreise hatte aber nicht einmal die Bewegung des Mondes, geschweige denn diejenige der Planeten zu erklären vermocht. Ptolemäos griff deshalb eine Idee auf, welche der Mathematiker Apollonios hingeworfen hatte, und nahm zwei oder mehr Kreisbewegungen zu Hülfe. Zur Erklärung diene obige Figur. Es sei E die Erde, um welche mit dem Radius R = M m ein excentrischer Kreis gezogen ist. Auf letzterem bewegt sich indes nicht der in Frage kommende Himmelskörper, sondern der Mittelpunkt der Kreisbahn p q t s, in welcher erst der Planet mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich

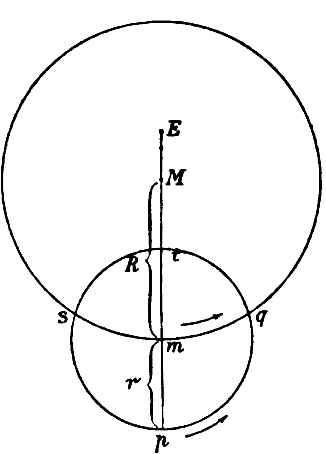


Fig. 6. Zur Erläuterung der Epicyklentheorie.

umdreht. Diese Kreisbahn wird der Epicykel und die Theorie des Ptolemäos daher wohl die Epicyklentheorie genannt. Es ist ersichtlich, dafs der Planet, von der Erde gesehen, sich in p rascher bewegt, als in t, wo seine Bewegung derjenigen des Epicykel entgegengesetzt ist. Auch ist klar, dafs trotz der gleichförmig gedachten Bewegung, mit deren Annahme der Forderung Platos Genüge geleistet war, scheinbare Stillstände und Rückgänge eintreten können. Es kam nur darauf an, das Verhältnis von r und ME zu R, sowie die Umlaufszeiten um M und m so zu wählen, dafs dem thatsächlichen Verlauf der Erscheinungen durch die hypothetischen Bewegungen Genüge geleistet und erstere aus den angenommenen Daten berechnet werden konnten. Stimmten dann die Berechnungen mit neuen auf Grund derselben angestellten Beobachtungen nicht überein, so griff man dazu, einen dritten Epicykel einzuführen, dessen Mittelpunkt den Kreis pqts beschrieb. So lange man die Epicyklentheorie als blofse Hülfshypothese ansah und benutzte, liefs sich nichts gegen dieselbe einwenden. Wir bedienen uns noch heute zur Beschreibung von Naturvorgängen mancher Fiktionen, welche dem Fortschritt der Erkenntnis nur dann gefährlich werden, wenn wir uns daran gewöhnen, in ihnen den wahren Grund der Erscheinungen zu erblicken. Erinnert sei nur an die Annahme magnetischer und elektrischer Fluida, an deren wirkliche Existenz kein Physiker mehr glaubt, obgleich sie selbst jetzt noch in der Regel einer elementaren Beschreibung der magnetischen und elektrischen Vorgänge zu Grunde gelegt werden. Mit der zunehmenden Kompliziertheit solcher Hypothesen wird indes deren Anwendung immer mehr erschwert. So trug schon aus dieser Ursache die Epicyklentheorie den Keim des Todes in sich, wenn auch ihre Herrschaft noch lange dauern sollte. Denn selbst Kopernikus war, nachdem er die Sonne, wie er sich ausdrückt, auf ihren königlichen Thron in die Mitte der sie umkreisenden Gestirne gesetzt hatte, sofort gezwungen, sich der Epicykel wieder als Hülfskonstruktion zu bedienen, weil er an der Vorstellung einer kreisförmigen Bewegung der Planeten festhielt.

Das astronomische Wissen seiner Zeit legte Ptolemäos, nachdem es durch ihn eine beträchtliche Vermehrung erfahren, in einem Lehrbuch nieder, welches von den Arabern Almagest [1]) genannt wurde und dem gesamten Mittelalter in astronomischer Hinsicht

---

[1]) Aus dem arabischen Artikel und dem ersten Wort des griechischen Titels (Μεγάλη σύνταξις) entstanden.



als ein Evangelium galt. Das Bedürfnis nach einer Verbesserung der von Ptolemäos darin mitgeteilten Planetentafeln machte sich jedoch schon im Mittelalter geltend. Um das Jahr 1250 berief daher König Alfons von Kastilien eine Anzahl Gelehrter, welche neue astronomische Tafeln, die sogenannten alfonsinischen, entwarfen, die einen wesentlichen Fortschritt gegenüber denjenigen des Ptolemäos aufwiesen. An der Epicyklentheorie wurde indes trotz ihrer wachsenden Kompliziertheit nicht gerüttelt, was Alfons zu dem Ausspruch verleitet haben soll, die Welt würde besser geworden sein, wenn Gott ihn bei ihrer Erschaffung zu Rate gezogen hätte.

Aufser der vorstehend skizzierten, dem damaligen Standpunkte der Astronomie genügenden Epicyklentheorie finden wir im Almagest die schon von den älteren alexandrinischen Astronomen, sowie Hipparch in Angriff genommene Bestimmung der Fixsternörter fortgesetzt. Der von Ptolemäos entworfene Katalog[1]) umfafst 1022 Sterne, welche nach ihrer Lage innerhalb der 48 von den Griechen angenommenen Sternbilder, sowie nach Länge und Breite bestimmt werden. Auch die Untersuchung der von Hipparch entdeckten und ihrer Gröfse nach gleich einem Grad für das Jahrhundert angegebenen Präcession der Nachtgleichen wird von Ptolemäos wieder aufgenommen. Eine Bestätigung dieser Erscheinung war nämlich sehr wichtig, da Hipparch sich nur auf die wenig genauen Beobachtungen der älteren Alexandriner stützen konnte.

Wie durch Hipparch, so erfuhr nun auch durch Ptolemäos die Geographie eine bedeutende Förderung. Das von letzterem geschaffene Lehrbuch[2]) dieser Wissenschaft genofs gleich dem Almagest bis gegen das Ende des Mittelalters eine unbestrittene Herrschaft. Diese Anerkennung war jedoch eine wohlverdiente. Nicht weniger als 5000 Punkte des damals bekannten Teils der Erdoberfläche werden nämlich darin nach ihrer Länge und Breite angegeben, und zwar sind nicht nur Städte, sondern auch Flufsmündungen, Berge und andere bemerkenswerte Orte berücksichtigt. Die Ermittelung der Breite geschah mit einer solchen Genauigkeit, dafs die von Ptolemäos entworfene Erdkarte in meridionaler Richtung nur geringe Verzerrungen aufwies. Die Methode der

---

1) Er bildet das 7. Buch des Almagest und wurde 1795 übersetzt und erläutert herausgegeben von J. E. Bode: J. E. Bode, Claudius Ptolemäus Beobachtung und Beschreibung der Gestirne. Berlin 1795.

2) Herausgegeben von Nobbe, 1842.

Längenbestimmung wurde schon erörtert [1]); sie lieferte sehr unvollkommene Ergebnisse. Auch gefiel man sich schon im Altertum in der Einführung neuer Nullmeridiane. So rechnete Ptolemäos nicht nach dem von Hipparch durch die Insel Rhodos gezogenen Mittagskreis, sondern verlegte den Anfang seiner Zählung nach den glücklichen Inseln des äufsersten Westens. Diese Einrichtung bot nämlich den Vorzug, dafs für die in Betracht kommende Region der Erde die Unterscheidung zwischen westlicher und östlicher Länge in Wegfall kam. Bei der kartographischen Darstellung des ihm bekannten Teiles der Erdoberfläche konnte Ptolemäos die Krümmung derselben nicht mehr unberücksichtigt lassen. Es galt daher eine Methode zu finden, welche Teile einer Kugelfläche in der Ebene zu zeichnen ermöglichte. Diese Aufgabe löste Ptolemäos, indem er sich der stereographischen Projektion bediente.

Während so der mathematische Teil der Erdkunde infolge der Fortschritte der Astronomie sehr gefördert wurde, blieb auch die physische Erdkunde nicht zurück. Hier war die Erweiterung des Horizontes durch die römischen Eroberungszüge und der dadurch bedingte kosmopolitische Zug, welcher die gesamte Erde als Wohnsitz des Menschen auffassen lehrte, von grofsem Einflufs. Insbesondere spricht sich dieser Zug in Strabo aus, von dessen Erdbeschreibung [2]) Humboldt sagt, sie überträffe an Mannigfaltigkeit und Grofsartigkeit alle geographischen Arbeiten des Altertums. Strabo läfst Inseln und ganze Kontinente in Übereinstimmung mit den Ansichten der heutigen Geologen durch vulkanische Kräfte emporgehoben worden; er besitzt auch bezüglich der erodierenden Thätigkeit des Wassers, der Ursache von Ebbe und Flut, der Abnahme der Temperatur mit der Erhebung [3]) u. s. w. klare und richtige Vorstellungen. Ja, er ahnt sogar die Existenz einer zweiten Kontinentalmasse neben der von Europa, Asien und Afrika gebildeten, wenn er sagt: „Es ist wohl möglich, dafs in demselben gemäfsigten Erdgürtel, welcher durch das atlantische Meer geht, aufser der von uns bewohnten Welt noch eine andere oder selbst mehrere liegen,“ während sich Columbus von der Vorstellung leiten liefs, dafs eine Fahrt nach Westen unmittelbar zu den östlichen Gestaden des asiatischen Festlandes führen müsse. Überhaupt war man gegen den Ausgang des Altertums auf dem Gebiete der physika-

[1]) Siehe Seite 49 ds. Bd.

[2]) Strabos Erdbeschreibung, übersetzt von Forbiger, 1858.

[3]) Siehe Humboldt, Examen critique de l'histoire de la géographie I, 152—154.

lischen Geographie zu ziemlich klaren Einsichten gelangt. So verdankt man dem Vitruvius eine im ganzen richtige Theorie der Quellenbildung[1]) nebst einer auf derselben beruhenden Anweisung zur Auffindung von Quellen, während Seneca in seinem Lehrgedicht[2]) die durch das Wasser auf der Erdoberfläche bewirkten Veränderungen recht klar schildert und die Springfluten darauf zurückführt, dafs bei ihnen aufser dem Monde auch die Sonne zur Wirkung gelangt.

Mit der zweiten Blüteperiode der alexandrinischen Schule und dem mehr kommentatorischen Verhalten, welches die Römer den Naturwissenschaften entgegenbrachten, ist die Entwicklung, welche diese Wissenschaften im Altertum erfuhren, beendet. Es trat nunmehr eine lange Zeit der Ruhe, ja des nahezu völligen Verlustes an erworbenem Besitztum ein, welche sich etwa mit derjenigen Periode deckt, die man in der Weltgeschichte als das Mittelalter bezeichnet. Erst gegen den Ausgang dieses Zeitraumes mehren sich — abgesehen von vereinzelten Regungen, auf die wir näher eingehen werden — die Anzeichen, welche auf eine Wiederbelebung der Wissenschaften schliefsen lassen. Und erst, nachdem man das Studium der alten Litteratur auf allen Gebieten aufgenommen, nachdem in Italien und den benachbarten Ländern im 15. und 16. Jahrhundert die Kunst geblüht, nachdem endlich der geographische Gesichtskreis sich über die ganze Erde ausgedehnt, sowie der allgemeine Kulturzustand sich beträchtlich gehoben hatte, sehen wir mit dem Anfang des 17. Jahrhunderts eine neue Blüte der Naturwissenschaften anheben, welche dem geistigen Leben der letzt verflossenen Jahrhunderte den Stempel aufgedrückt hat. Ja, dieser neuere Aufschwung ist so eng mit der gesamten Kultur unseres Zeitalters verknüpft, dafs ein abermaliger Verfall der Wissenschaften zugleich das Ende dieser Kultur bedeuten würde.

Man hat viel nach den Gründen der Erscheinung gesucht, dafs die Wissenschaft und die Kultur des Altertums untergegangen sind und das menschliche Geschlecht während eines Zeitraums von tausend Jahren dem Stillstande verfallen war. Ist doch unsere Zeit von dem Gefühl beherrscht, dafs sich die Menschheit auf der Bahn, welche sie seit dem Ausgang des Mittelalters eingeschlagen hat, in einem unaufhaltsamen Fortschritt zu weiterer Erkenntnis und höherer Gesittung befindet. Ein wichtiger Grund, der diesem

1) Vitruvius VIII, 1.
2) Seneca, Naturales quaestiones III, 5 und 28

Gefühle Sicherheit verleiht, besteht darin, dafs die neuere Wissenschaft eine gewaltige Technik ins Leben rief, welche das Altertum, während dessen das gewerbliche Schaffen wesentlich auf der Stufe eines noch nicht von wissenschaftlichen Prinzipien durchdrungenen Handwerks verblieb, nicht kannte. Dadurch, dafs sich der Mensch zum Herren der Naturkräfte machte, erfuhr die Wissenschaft eine weit innigere Verschmelzung mit der gesamten Kultur, als dies im Altertum der Fall gewesen.

Dieser Mangel des letzteren war gleichzeitig eine der Bedingungen, dafs damals politische und religiöse Umwälzungen von solchem Umfang eintreten konnten, wie sie der neueren Kulturwelt, welcher vielleicht andere Gefahren drohen, aller Voraussicht nach erspart bleiben werden. Es waren dies der durch eine jahrhundertlange Zersetzung vorbereitete, durch den Ansturm der germanischen Stämme herbeigeführte Zerfall des Römerreiches, sowie die Überwindung des Heidentums oder der angesichts der Unhaltbarkeit desselben eingetretenen religiösen Indifferenz durch die monotheistischen Religionen, das Christentum und den Islam. Von diesen wirkte das erstere mehr innerlich, indes nachhaltiger, während der Islam, das Feuer und das Schwert mit dem Bekehrungseifer verbindend, unmittelbarer in die Geschicke eine grofsen Teiles der Welt eingriff. Mit dem zunächst zersetzenden Wirken all dieser Einflüsse beginnt für die allgemeine Geschichte, wie für die Geschichte der Wissenschaften, das Mittelalter, dessen Betrachtung wir uns jetzt zuwenden wollen.

---

# II. Das Mittelalter.

Der Historiker, welcher es liebt, seinen Einteilungen laute, in die Augen springende Ereignisse zu Grunde zu legen, läfst das Mittelalter mit dem Eintritt der Völkerwanderung oder mit der Errichtung der ersten germanischen Herrschaft auf dem Boden Italiens beginnen. In der Geschichte der Wissenschaften hat man wohl nach ähnlichen epochemachenden Ereignissen gesucht und die Zerstörung der alexandrinischen Bibliothek durch die Araber im Jahre 642 als ein solches betrachtet. Man darf jedoch nicht vergessen, dafs auf diesem Gebiete das Entstehen und Vergehen ein geräuschlos vor sich gehendes Ereignis ist, das wohl von den Katastrophen der Weltgeschichte beeinflufst werden kann, aber

niemals den Charakter einer ruhigen Entwicklung verleugnet. Der Geist der zweiten alexandrinischen Blüteperiode war um das Jahr 600 längst erloschen und die alexandrinische Schule, welche die alten Schätze kaum zu würdigen verstand, fristete nur noch ein Scheinleben, während in Rom, seitdem dort moralische Fäulnis auf der einen und das der Welt mit ihrem Wissen abgewandte Christentum auf der anderen Seite das Staatsleben immer mehr durchdrangen, also schon eine ganze Reihe von Jahrzehnten vor dem endgültigen Siege des germanischen Elementes, die Naturwissenschaften nicht mehr gepflegt wurden. Rom und Alexandrien waren die Hauptsitze der christlichen Kirche geworden, und die letztere kehrte sich, da es ihr Ziel war, die antiken Elemente zu überwinden und neue an deren Stelle zu setzen, in mifsverstandener Auslegung der Schrift auch gegen die antike Wissenschaft. „Forschung,“ sagt Tertullian[1]) „ist nach dem Evangelium nicht mehr von Nöten“ und Eusebius meint von den Naturforschern seiner Zeit: „Nicht aus Unkenntnis der Dinge, die sie bewundern sondern aus Verachtung ihrer nutzlosen Arbeit denken wir gering von ihrem Gegenstande und wenden unsere Seele der Beschäftigung mit besseren Dingen zu.“ Konnten doch diese Kirchenväter der ältesten christlichen Zeit selbst Meinungen heidnischer Philosophen für ihre Ansicht ins Feld führen, wie diejenige des Sokrates, welcher die menschliche Seele mit ihren inneren Zuständen für den einzigen des Nachdenkens würdigen Gegenstand erklärt hatte. Der Fanatismus indes begnügte sich nicht mit dem Streit der Meinungen. Man zog bald nicht nur gegen die Wissenschaft, sondern auch gegen ihre Denkmäler und Schätze zu Felde. So wurde, lange bevor die Zerstörungswut der Araber in Alexandrien tobte, an demselben Orte, unter der Führung eines christlichen Patriarchen, die wertvolle Bibliothek des Serapistempels den Flammen überliefert.

Mit demselben Unverstand wie gegen die profane Wissenschaft verfuhren die Bekenner des neuen Glaubens zunächst auch gegen die von den Alten überlieferte Heilkunde. Krankheit wurde mit Gebet und Beschwörung behandelt oder sogar als eine Strafe Gottes betrachtet, in die man sich willenlos zu fügen hätte, während glückliche Kuren für Teufelswerk galten. In gleichem Mafse, wenn auch aus anderen Gründen bildungsfeindlich, verhielt sich die zweite Macht, welche von der Welt auf den Trümmern der Antike Besitz ergriff, das Germanentum. Die Träger desselben waren Volksstämme,

---

1) Tertullian, de praescr. haeretic. cap. 7.



welche erst von dem Augenblicke an, in dem sie mit der alten Kultur in Berührung kamen, in das Licht der Geschichte traten. Ihnen galten nicht nur die civilisierten Bewohner des südlichen Europas, sondern auch die Geisteserzeugnisse derselben zunächst als feindliche Mächte. So erzählt Prokop von den Goten, welche nach den langen Wirren der Völkerwanderung in Italien zuerst wieder geordnete Verhältnisse schufen, sie seien der Ansicht gewesen, dafs derjenige, der die Rute des Lehrers gefürchtet, keinem Schwert und keinem Speer mehr festen Blickes begegnen könne.

Bedenkt man nun, dafs diese beiden Mächte, das Christentum und das Germanentum, das eine geistig, das andere physisch, von dem abendländischen Teil der alten Welt Besitz ergriffen, während bald darauf im Orient der Islam mit ähnlichen Tendenzen ins Leben trat, so läfst es sich begreifen, dafs die vom Altertum begründete Wissenschaft in dem Geistesleben des Mittelalters zunächst keinen Platz fand. Man wird vielmehr erstaunen, dafs diese Wissenschaft Kraft genug besafs, um nicht gänzlich unterzugehen, sondern unter der Asche fortzuglimmen, bis sich an ihr gegen den Ausgang des Mittelalters die Fackel der Vernunft von neuem entzündete.

Einer Fortentwicklung der vom Altertum geschaffenen Grundlagen wirkte nicht nur die bildungsfeindliche Tendenz entgegen, welche dem Christentum und dem Germanentum zu Beginn ihres Auftretens innewohnte, sondern es brach auch eine Summe von Geschehnissen über die alte Kulturwelt herein, welche an Furchtbarkeit nicht ihresgleichen hatten und das südliche Europa in einen Trümmerhaufen verwandelten, sodafs der Wohlstand desselben, der doch bis zu einem gewissen Grade die Vorbedingung aller Kunst und Wissenschaft ist, gänzlich vernichtet wurde.

Während sich das oströmische Reich einer gewissen Stabilität erfreute, wurde der Westen ein Spielball der germanischen Stämme. Auf die Verwüstung durch die Goten folgte der Einfall der Vandalen, welche überall Trümmerhaufen als die Spur ihrer Züge zurückliefsen. „Sie zerstörten alles“, berichtet der Chronist von ihnen[1]), „was sie fanden, die Pest kann nicht verheerender sein. Auch wütete eine fürchterliche Hungersnot, sodafs die Überlebenden die Körper ihrer verstorbenen Mitbürger verzehrten.“ Es klingt kaum glaublich, wenn uns die Historiker jener Zeiten erzählen,

[1]) Nach Whewell, Geschichte der induktiven Wissenschaften. 1840. Bd. I, 333.



dafs man Festungen durch den Leichengeruch zur Übergabe zwang, indem man die Gefangenen vor den Wällen niedermetzelte. Fast zur selben Zeit, als die Vandalen Rom plünderten, wurde Oberitalien durch die Hunnen verwüstet, deren Strom durch die von Aëtius über sie gewonnene Schlacht bei Châlons nach Süden abgelenkt war. Nach diesen völkermordenden Kriegen nahmen todbringende Seuchen von dem aus tausend Wunden blutenden Europa Besitz. Vielleicht war infolge der vorhergegangenen Ereignisse eine allgemeine Schwächung der europäischen Menschheit eingetreten und dadurch der Pest der Boden bereitet worden. Nach dem von Prokop, dem Geschichtsschreiber dieser Periode, hinterlassenen Bericht wütete die Pest volle fünfzig Jahre im ganzen römischen Reiche dermafsen, dafs in Italien stellenweise der Wein und das Getreide auf dem Felde vermoderten, weil es an Schnittern fehlte.

Allmählich erhoben sich indes aus der Verworrenheit und Verwüstung, welche die ersten Jahrhunderte des Mittelalters kennzeichnen und das völlige Erlahmen des wissenschaftlichen Geistes begreiflich erscheinen lassen, gefestigte Verhältnisse. Rom war dadurch, dafs es im fünften Jahrhundert in den Besitz des kirchlichen Primats gelangt war, wieder, wenn auch in anderem Sinne wie im Altertum, zum geachteten Mittelpunkt des Abendlandes, die lateinische Sprache zur Weltsprache geworden. Benedikt von Nursia hatte im Anfang des folgenden sechsten Jahrhunderts das Klosterwesen aus den Wüsten Ägyptens nach Westeuropa verpflanzt. Seitdem ferner das Christentum feste kirchliche Formen angenommen hatte, gab es seine der Askese entsprungene bildungsfeindliche Tendenz mehr und mehr auf. Ja, die systematische Behandlung der Lehren seiner Kirche führte selbst dazu, dafs man auf die Anschauungen der Alten zurückgriff und eine Verschmelzung der alten Philosophie mit den Dogmen der neuen Religion herbeizuführen suchte, in welcher eine neue Geistesrichtung, die Scholastik, ihre Hauptaufgabe erblickte. Zwar das Studium der nicht philosophischen Schriften des Altertums wurde von den kirchlichen Machthabern nur ungern gesehen. So begegnet uns im 13. Jahrhundert ein Verbot[1]), welches den Mönchen das Lesen physikalischer Schriften als sündhaft untersagte. Im ganzen war jedoch die Thätigkeit der Orden auf die Erhaltung der alten Schriftwerke und

---

1) Erlassen auf der Kirchenversammlung zu Paris vom Jahre 1209. Siehe auch von Humboldts Kosmos II. S. 31, sowie die bezügliche Anmerkung.

die Ausbreitung der Bildung gerichtet, sodafs z. B. die Benediktiner mit Recht den Wahlspruch „Ex scholis omnis nostra salus“ führten.

Auch in dem politischen Leben Italiens machte die Brandung, welche dort Jahrhunderte getobt hatte, einer ruhigeren Entwicklung der Dinge Platz. Während der ersten Hälfte des sechsten Jahrhunderts herrschten daselbst die Ostgoten. Unter ihrem grofsen König Theoderich, welcher eine Verschmelzung des germanischen mit dem römischen Element herbeizuführen suchte, erlebte das Land sogar einen kurzen Aufschwung. Das wissenschaftliche Interesse wurde von neuem lebendig, die Schulen blühten und die Gelehrten wurden wieder geachtet[1]). Durch Boëthius wurde das Studium der griechischen Schriftsteller wieder zugänglich gemacht, indem er sie in das Lateinische übersetzte und kommentierte. Cassiodor, der Geschichtsschreiber der Ostgotenzeit, hat der Nachwelt eine Stelle aus einem Briefe Theoderichs an Boëthius aufbewahrt, welche den König wie den Empfänger in gleicher Weise ehrt. „In deinen Übertragungen“, heifst es in diesem Schreiben, „wird die Astronomie des Ptolemäos, sowie die Geometrie des Euklid lateinisch gelesen. Plato, der Erforscher göttlicher Dinge, und Aristoteles, der Logiker, streiten in der Sprache Roms. Auch Archimed, den Mechaniker, hast du lateinisch zurückgegeben. Welche Wissenschaften und Künste auch das fruchtbare Griechenland erzeugte, Rom empfing sie in vaterländischer Sprache durch deine Vermittlung[2]).“ Insbesondere der Astronomie und der Physik brachten die Goten geschichtlichen Berichten[3]) zufolge ein reges Interesse entgegen.

Leider sollte dieser hoffnungsvolle Ansatz, den der italische Boden gezeitigt, in der Blüte geknickt werden. Ebenso rasch wie das Ostgotenreich emporgekommen war, wurde es durch die furchtbaren Kriege, welche der oströmische Kaiser gegen dasselbe führte, wieder hinweggefegt. Zehn Jahre später fiel das verwüstete Italien in die Hände der Langobarden. Einen ähnlichen Aufschwung wie zur Zeit der Ostgoten hat es jedoch unter der Jahrhunderte dauernden Herrschaft dieses Volkes nicht wieder erlebt. Doch fand in dieser verhältnismäfsig ruhigen Zeit eine allmähliche Verschmelzung des germanischen Elementes mit dem römischen statt, wodurch die Vorbedingung für eine höhere Kultur geschaffen wurde.

---

[1]) Libri, histoire des sciences mathématiques en Italie. Bd. I, 82.

[2]) Cassiodorus, Varia I, 45.

[3]) Nach Jornandes.



Ein neuer Anlafs zur Beschäftigung mit der Wissenschaft des Altertums sollte im Abendlande nicht mehr wie zur Zeit Theoderichs auf eigenem Boden erspriefsen, sondern von einem Volke ausgehen, welches bis dahin kaum eine Rolle gespielt hatte. Diese Erscheinung ist eine der merkwürdigsten, welche uns in der Geschichte der Wissenschaften begegnet, weshalb wir ihr eine etwas eingehendere Betrachtung schenken müssen.

Wie das Christentum die abendländischen Völker durchdrang, so bemächtigte sich der Islam des gesamten Orients. Die Ausbreitung der neuen Lehre erfolgte durch Feuer und Schwert und ging Hand in Hand mit der Errichtung eines Weltreichs durch die Araber. Auch die letzteren traten wie die ersten Bekenner des Christentums den vorhandenen Bildungselementen zunächst feindlich gegenüber. Von fanatischem Eifer verblendet soll Omar, der arabische Feldherr, welcher Alexandrien eroberte, den Befehl zur Einäscherung der alexandrinischen Bibliothek mit den Worten gegeben haben: „Wenn diese Bücher das enthalten, was im Koran steht, so sind sie unnütz, wenn sie etwas anderes enthalten, so sind sie schädlich. Sie sind deshalb in beiden Fällen zu verbrennen."

Nachdem die Araber in der kurzen Zeit von 632—700 Syrien, Palästina, Ägypten, Persien, Nordafrika und Spanien unterjocht hatten, nahmen sie die Bildungselemente, welche sie in diesen Ländern vorfanden, in sich auf, um sie später den inzwischen in immer tiefere Unwissenheit versunkenen abendländischen Völkern zu übermitteln. Den letzteren blieb es jedoch vorbehalten, auf diesen Fundamenten erfolgreich weiter zu bauen, was die Araber nur in bescheidenem Mafse vermocht hatten. Es ist somit das unbestrittene Verdienst dieses Volkes, die griechische Wissenschaft erhalten und durch das Dunkel des Mittelalters in die neuere Zeit hinübergerettet zu haben.

Trotz aller Verfolgungen, denen die griechische Wissenschaft ausgesetzt gewesen, fanden sich nämlich im Orient doch noch zahlreiche wertvolle Überreste derselben. Vor allem war es die zur Zeit der Eroberungskriege der Araber in Persien verbreitete christliche Sekte der Nestorianer, welche sich um die Erhaltung dieser Überreste ein grofses Verdienst erworben hatte. Als in Bagdad unter Almansur das Kalifat allen Glanz des Orients um sich verbreitete, wurden die Nestorianer, sowie zahlreiche griechische Gelehrte an den Hof gezogen und damit betraut, die in ihrem Besitz befindlichen Wissensschätze zu übersetzen. Die arabischen

5*

Machthaber scheint dabei zuerst mehr eine Art von Sammeleifer als ein Verständnis für die Bedeutung des Errungenen geleitet zu haben. Es wird berichtet, dafs Harun al Raschid, der zur Zeit Karls des Grofsen lebende Kalif aus dem prachtliebenden Hause der Omnijaden, sich von den griechischen Kaisern alles ausgebeten habe, was ihr Land an philosophischen Werken besafs. Auch das Interesse für mechanische Dinge mufs schon damals bei den Arabern nicht gering gewesen sein. So übersandte derselbe Kalif Karl dem Grofsen unter den zur Krönungsfeier bestimmten Geschenken eine Wasseruhr, die ein Zeigerwerk besafs und die Stunden dadurch anzeigte, dafs eine Metallkugel in ein aus Erz gefertigtes Becken fiel[1]).

Nicht minder grofs war die Vorliebe, welche der Sohn und Nachfolger Haruns, der Kalif Abdallah al Mamun, für die Wissenschaft bekundete. Derselbe gründete in zahlreichen Städten seines Reiches Schulen und Bibliotheken. Nach einem erfolgreichen Kriege gegen den byzantinischen Kaiser legte er letzterem die Bedingung auf, ihm von sämtlichen in den Bibliotheken des griechischen Reiches befindlichen Werken je ein Exemplar zu überlassen, damit diese Werke ins Arabische übersetzt würden. Die Araber bewiesen indes schon damals, dafs sie sich nicht blofs receptiv verhalten wollten. So wurde z. B. die Messung eines Breitengrades zur Bestimmung des Erdumfanges unter Al Mamun wieder vorgenommen, und zwar sehr wahrscheinlich, ohne dafs man hierbei auf die von den Griechen geschaffene Basis zurückging[2]). Ein wesentlicher Fortschritt dem Eratosthenes gegenüber war es bei diesem arabischen Unternehmen, dafs die zu Grunde gelegte Strecke nicht in Tagereisen ausgedrückt, sondern in der Richtung des Meridians genau gemessen wurde. Man fand die Länge des Grades gleich 56 und bei einer zweiten Messung gleich 56²/₃ Meilen. Leider ist man nicht mehr in der Lage, den genauen Wert der arabischen Meile anzugeben[3]).

Die Astronomie, welche immer mehr in Astrologie ausartete, die Mathematik und die auf geometrischer Konstruktion beruhende Optik, vor allem aber die Chemie in ihrem ersten, von mystischen Vorstellungen durchwebten Gewande waren die Gebiete, denen

---

1) Heller, Geschichte der Physik, 1882, I, 160.

2) S. Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, 1877, S. 59.

3) Peschel, Geschichte der Erdkunde, 1877, S. 122.



sich die Araber mit Vorliebe zuwandten, und auf welchen sie auch, zumal was die ihrem Ursprunge nach vorwiegend arabische Wissenschaft der Chemie anbetraf, anerkennenswerte Leistungen aufzuweisen haben.

Eine Anregung zur Beschäftigung mit der Mathematik empfingen die Araber nicht nur durch die griechischen Schriften des Altertums, welche von einem vorzugsweise für die Geometrie veranlagten Volke herrührten, sondern in nicht geringerem Mafse von den Indern, die sich durch ihre rechnerische Begabung auszeichneten. Von den letzteren erhielten die Araber vor allem das auf dem Stellenwert beruhende Ziffernsystem, welches wir noch heute als das arabische bezeichnen, weil die Araber dasselbe den abendländischen Völkern übermittelt haben. Auch die Algebra ist indischen Ursprungs, erfuhr indes durch die Araber eine wesentliche Fortbildung. Gegen den Ausgang des Mittelalters gelangte das westliche Europa gleichfalls durch Vermittlung dieses Volkes in den Besitz der aus Ostasien stammenden Boussole und sehr wahrscheinlich auch des Schiefspulvers, also einer ganzen Reihe der wichtigsten Kulturmittel.

Nach der Eroberung Spaniens hatten die Araber das Kalifat zu Cordova errichtet, das für den westlichen Teil ihres Weltreichs eine ähnliche Bedeutung erhielt, wie sie Bagdad für den Osten besafs. In Spanien war es auch, wo die Berührung der abendländischen Christenheit mit dem geistigen Gehalt des Islam vorzugsweise stattfand. Von hier ging die Wiederbelebung des wissenschaftlichen Interesses für die christlichen Länder aus, welche im 9. und 10. Jahrhundert den Aristoteles in arabischer Übersetzung kennen lernten. In Cordova entstand eine hohe Schule und eine Bibliothek von mehreren hunderttausend Bänden. Ähnliches wurde in anderen unter der maurischen Herrschaft durch Handel und Wohlstand emporblühenden Plätzen, wie Granada, Toledo und Salamanca, geschaffen. Aus allen Teilen Westeuropas zogen Wifsbegierige an diese Stätten, denen man daheim nichts an die Seite zu stellen hatte. Bekannt ist, dafs Gerbert, der spätere Papst Sylvester II., auf einer arabischen Hochschule Philosophie und Mathematik studierte, und dafs später, nachdem die Araber im Süden Italiens Fufs gefafst, der hochsinnige Staufenkaiser Friedrich II. arabische Weisheit wohl zu schätzen wufste.

Wie schon erwähnt, wurde neben Mathematik und Astronomie besonders die das geometrische Interesse fesselnde Optik von den Arabern gepflegt. Das auf diesem Gebiete teils gesammelte, teils

erworbene Wissen ist uns am vollständigsten in dem Werke des um das Jahr 1100 in Spanien lebenden Physikers Alhazen übermittelt worden[1]). Dieses Werk stand während des gesamten Mittelalters in hohem Ansehen und verdient es, dafs wir uns mit seinem Inhalt etwas näher befassen, um uns einen Begriff von den damaligen Kenntnissen zu verschaffen.

Zunächst handelt Alhazen von dem Organ des Sehens. Zwar hatten sich schon die Alexandriner mit dem Bau des Auges befafst. Die Beschreibung, welche uns Alhazen liefert, ist jedoch die erste, welche den Namen einer anatomischen verdient. Die noch heute gebräuchlichen Bezeichnungen für die Hauptteile des Auges, wie Humor vitreus (Glaskörper), Cornea (Hornhaut), Retina (Netzhaut) u. s. w. stammen aus Alhazens Optik. Das Verhältnis von Linse und Netzhaut in seiner Bedeutung für das Zustandekommen des Bildes zu erkennen, blieb jedoch späteren Untersuchungen vorbehalten. Auch in der Behandlung der Reflexion und Brechung, denen das Werk der Hauptsache nach gewidmet ist, zeigt sich ein beträchtlicher Fortschritt den Griechen gegenüber. Nicht nur ebene, sondern sphärische, cylindrische und konische Konkav- und Konvexspiegel werden zur Erzeugung von Bildern herangezogen und Lage und Gröfse der letzteren bestimmt. Auch das Verhalten des Rotationsparaboloids, die vom Brennpunkt ausgehenden Strahlen parallel zu reflektieren, wird erörtert.

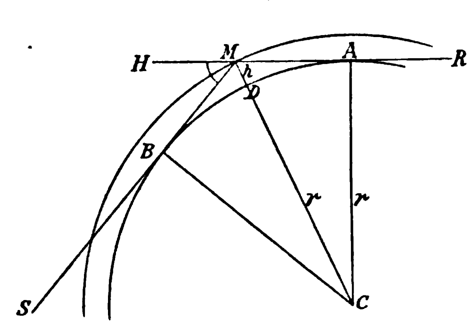


Fig. 7. Alhazen bestimmt die Höhe der Atmosphäre.

Hatte Ptolemäos gefunden, dafs jedem Einfallswinkel ein bestimmter Brechungswinkel entspricht, so fügte Alhazen die Erkenntnis hinzu, dafs der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslot in einer Ebene liegen. Die ältere Annahme, dafs das Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel ein konstantes sei, erkennt Alhazen nur für kleine Werte

[1]) Opticae thesaurus Alhazeni Arabis libri VII nunc primum editi a Federico Risnero. Basileae 1572.

als richtig an. Aus der Spiegelung und Brechung erklärt er dann auch einige wichtige astronomische Erscheinungen. So wird die Dämmerung auf die Reflexion des Lichtes zurückgeführt. Die Thatsache, dafs die Dämmerung nur so lange währt, bis die Sonne sich 19° unter dem Horizont befindet, giebt Alhazen ein Mittel an die Hand, die Höhe unserer Atmosphäre zu bestimmen. Es sei M, so führt er aus, die äufserste Schicht der Luft, welche den Strahl SM noch zu reflektieren vermag, und A der Ort des Beobachters. Der Winkel HMS, den der Sonnenstrahl SM mit dem Horizont bildet, beträgt dann 19°. Nach dem Reflexionsgesetz ist nun $\sphericalangle$ BMC = $\sphericalangle$ AMC. Da ferner die Summe der drei Winkel bei M gleich 180° ist, so ergiebt sich für den Winkel AMC der Wert $\frac{180 - 19}{2} = 80^0\ 30'$. Da auch die Seite $AC = r$ bekannt ist, so ist das rechtwinklige Dreieck ACM bestimmt. Die gesuchte Höhe ergiebt sich, wenn aus den gegebenen Stücken die Hypotenuse MC berechnet ($MC = r : \sin 80^0\ 30'$) und von derselben r subtrahiert wird. $MD = h$ ist also $= (r : \sin 80^0\ 30') - r$. Diese Gröfse beträgt nach der Berechnung Alhazens 52000 Schritt (5—6 Meilen), während wir dafür 10 Meilen annehmen.

Gegen diese Berechnung läfst sich ein Einwand erheben, den Alhazen selbst schon hätte machen können. Es war ihm nämlich wohl bekannt, dafs ein Lichtstrahl, welcher schräg in unsere Atmosphäre einfällt, keine gerade Linie beschreibt, sondern, weil er auf immer dichtere, das Licht in wachsendem Mafse brechende Schichten trifft, einen krummen Weg nimmt. Diese mit dem Namen der astronomischen Refraktion bezeichnete Erscheinung war schon dem Ptolemäos bekannt. Man führte sie jedoch nicht auf die zunehmende Dichte der Atmosphäre, sondern auf die in derselben enthaltenen Dünste zurück. Das Funkeln der Sterne rührt nach Alhazen von raschen Änderungen in der Dichtigkeit der Atmosphäre her, während die Erscheinung, dafs Mond und Sonne in der Nähe des Horizontes abgeplattet erscheinen, aus der astronomischen Refraktion erklärt wird.

Diese Leistungen verdienen umsomehr unsere Bewunderung, wenn wir bedenken, dafs zur selben Zeit das christliche Abendland von scholastischen Zänkereien erfüllt war. So befindet sich in dem wissenschaftlichen Hauptwerk[1]) des Thomas von Aquino unter mehreren hundert Kapiteln nur ein einziges, das „von den natür-

1) Summa theologiae.

lichen Wirkungen der Dinge“ handelt, während sich eine ganze Anzahl mit der Nahrung, der Verdauung und dem Schlaf der Engel beschäftigen.

Die gröfsten Verdienste haben sich die Araber um die Begründung der Chemie erworben. Zwar wurde man schon in der ältesten Zeit durch hüttenmännisches und gewerbliches Schaffen mit einer Reihe stofflicher Veränderungen vertraut. Auch empfingen zweifelsohne die Araber die erste Anregung zu ihrer Beschäftigung mit den letzteren aus Ägypten, wo man die gemachten Erfahrungen sammelte. Bei den späteren Alexandrinern und den Arabern indes finden wir diese Beschäftigung losgelöst von den alltäglichen Nützlichkeitszwecken und in den Dienst eines Strebens gestellt, das ihnen einen Ansporn verlieh, wie es ein wissenschaftliches Interesse nicht in höherem Grade vermocht hätte.

Aus der Beobachtung, dafs man durch Zusammenschmelzen unedler Metalle dem Golde und dem Silber ähnliche Legierungen erhält, dafs aus Rohblei durch geeignete Behandlung wirkliches Silber und aus Amalgam Gold abgeschieden werden kann, hatte sich die Ansicht von der Möglichkeit, unedle Metalle in edle zu verwandeln, gebildet. Bei dem gänzlichen Mangel einer Einsicht in den chemischen Prozefs hielt man nämlich die genannten Vorgänge für wirkliche Umwandlungen der Stoffe. Da man ferner durch Verbesserung der hüttenmännischen Betriebe eine gröfsere Ausbeute erzielte, so lag der Gedanke nahe, ob nicht durch geeignete Behandlung das gesamte Rohmaterial in edle Metalle verwandelt werden könne. Das Zeitalter, in welchem die Erforschung stofflicher Veränderungen von diesem Bestreben geleitet wurde, hat man als das Zeitalter der Alchemie bezeichnet.

Die ersten alchemistischen Regungen finden sich schon bei den Alexandrinern. Aus dem dritten nachchristlichen Jahrhundert sind nämlich Schriften alexandrinischen Ursprungs auf uns gelangt, welche sich mit dem Problem der Metallveredelung beschäftigen [1]). Von den Gelehrten des unterjochten Ägyptens ging zweifelsohne für die Araber der Antrieb aus, sich mit dem gleichen Problem zu befassen. Schon das Wort Chemie deutet sehr wahrscheinlich darauf hin; dasselbe ist nämlich gleichlautend mit einer alten Benennung Ägyptens. Wie Plutarch berichtet, haben die Bewohner

---

[1]) Der Urtext derselben nebst französischer Übersetzung wurde von Berthelot in den Jahren 1887 und 1888 unter dem Titel „Collection des Anciens Alchimistes Grecs“ veröffentlicht.



dieses Land der schwarzen Farbe seines Erdreichs wegen chêmi (Chemia) genannt. Auch die Bezeichnung „schwarze Kunst" würde dadurch vielleicht ihre Erklärung finden.

Der bedeutendste Schriftsteller des alchemistischen Zeitalters ist Geber. Geber lehrte während der ersten Hälfte des achten Jahrhunderts an der Hochschule zu Sevilla. Von ihm rühren eine Anzahl Schriften her, welche allerdings nur in lateinischer Übersetzung auf uns gekommen sind[1]). Eine kurze Darstellung des Inhalts derselben wird uns am besten über das Ziel und den Umfang der damaligen Chemie belehren, doch läfst sich in Anbetracht der grofsen Unvollständigkeit, in welcher die Litteratur des Altertums und des Mittelalters erhalten geblieben, heute nicht mehr sicher feststellen, wieviel Geber selbständig gefunden und was er von seinen Vorgängern entlehnt hat.

Die wichtigste Thatsache, welche uns in den Werken Gebers begegnet, ist seine Bekanntschaft mit der Salpetersäure, der Schwefelsäure und dem Königswasser, während sich das Altertum nur im Besitz der Essigsäure befand. Die erstgenannten Säuren erhielt man durch Erhitzen von Salzen und Salzgemischen, eine Darstellungsart, welche für die Schwefelsäure bis zur Erfindung des englischen Prozesses die einzige blieb. So erhielt Geber diese Säure durch Glühen von Alaun in Destilliergefäfsen und Salpetersäure durch Erhitzen eines Gemenges von Salpeter und Vitriol. Ein Zusatz von Salmiak zur Salpetersäure lieferte ihm das Königswasser, dessen Eigenschaft, das Gold, den König der Metalle, aufzulösen, ihm nicht entging.

Auf dieser Grundlage konnte sich eine Chemie entwickeln, welche auf nassem Wege verfuhr, während man bis dahin vorzugsweise eine Chemie der Schmelzprozesse betrieben hatte. So sehen wir Geber durch Auflösen von Metallen in Salpetersäure zum Höllenstein und zu zahlreichen anderen Verbindungen, insbesondere Salzen gelangen, welche den Alten, wie z. B. die Salze des Quecksilbers, nicht bekannt waren. Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs die erhaltenen Verbindungen zunächst sehr unrein waren; doch kannte man auch schon die wichtigsten Operationen, welche auf eine Reindarstellung der gewonnenen Präparate abzielten. Es waren dies aufser der Destillation, die man schon bei den Alexan-

---

[1]) Deutsche Ausgaben erschienen 1710 in Erfurt und 1751 in Wien. Eine Aufzählung der Schriften Gebers siehe bei Wüstenfeld, Geschichte der arabischen Ärzte und Naturforscher. 1840. S. 12 u. 13.

drinern erwähnt findet, vor allem das Umkrystallisieren, die Sublimation und das Filtrieren. Auch Wasserbäder und Öfen zum chemischen Gebrauch finden sich in Gebers Werken beschrieben.

Mit dem chemischen Verhalten der Metalle war Geber weit besser als das Altertum bekannt; er stellte aus denselben eine Reihe von Sauerstoffverbindungen her. So finden wir bei ihm die erste Nachricht über die Gewinnung des Quecksilberoxyds[1], einer Substanz, welche in der späteren Entwicklung der Chemie eine grofse Rolle spielen sollte. Nicht nur mit Sauerstoff, sondern auch mit Schwefel wufste Geber die Metalle zu verbinden. Die entstandenen Sulfide fand er schwerer als das zur Verwendung kommende Metall, während er unrichtiger Weise annahm, dafs mit der Oxydation eine Verminderung des Stoffes verbunden sei.

Auch in der Kenntnis der Verbindungen der Leichtmetalle war man in dieser Periode einen Schritt weiter gekommen. Pottasche wurde durch Verbrennen von Weinstein, Soda nach dem bis zur Einführung des Leblancprozesses allein üblichen Verfahren (Einäschern von Seepflanzen) dargestellt. Durch einen Zusatz von Kalk machte Geber die Lösungen dieser beiden Salze ätzend und erhielt so Kalilauge und Natronlauge[2]). Letztere dienten ihm zur Auflösung von Schwefel, welcher aus der alkalischen Lösung durch Säuren in feinster Verteilung als Schwefelmilch wieder ausgefällt wurde[3]).

Diese beachtenswerten Einzelkenntnisse suchte Geber unter den Gesichtspunkt einer Theorie zu bringen, welche bei dem damals noch herrschenden Mangel an Einsicht in den chemischen Prozefs die Wahrheit allerdings verfehlen mufste. Die Metalle waren seiner Ansicht nach Gemenge von Quecksilber und Schwefel. Durch Abänderung des Mengenverhältnisses konnten sie folglich ineinander übergeführt werden. So nahm das Kupfer eine Stelle zwischen Gold und Silber ein. Durch Erhitzen mit Galmei wurde es dem ersteren, durch Zusammenschmelzen mit Arsenik dem letzteren angenähert. Die auf solche Weise herbeigeführte Änderung der roten Farbe in gelb und weifs hielt Geber für den Beginn des Überganges in ein anderes Metall. Bei seinen chemischen

---

1) Kopp, Geschichte der Chemie I, 53.

2) $K_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2\,KOH + CaCO_3$
$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2\,NaOH + CaCO_3$.

3) $6\,KOH + 12\,S = K_2S_2O_3 + 2\,K_2S_5 + 3\,H_2O$
$K_2S_2O_3 + 2\,HCl = 2\,KCl + SO_2 + S$
$K_2S_5 + 2\,HCl = 2\,KCl + H_2S + 4\,S$.

Operationen verfolgte er das Ziel, eine Substanz herzustellen, mit der diese Metallverwandlung völlig gelingen sollte. Diese hypothetische Substanz nannte er den Stein der Weisen. Ob er sich für überzeugt hält, denselben gefunden zu haben, erfahren wir nicht, auch spricht nichts dafür, dafs er ihm die wunderbaren Wirkungen beilegte, von denen wir bei späteren Alchemisten des christlichen Abendlandes hören werden. Da die letzteren, wie auch die arabischen Nachfolger Gebers im wesentlichen denselben Ansichten huldigten, und zunächst auch keine in die Augen fallende Vermehrung der Einzelkenntnisse stattfand, kann von einem nennenswerten Fortschritt der Chemie im weiteren Verlaufe dieser Periode nicht die Rede sein. Vielmehr fand zwischen den beiden Pseudowissenschaften des Mittelalters, der Alchemie und der Astrologie eine immer gröfsere Verschmelzung unter gleichzeitiger Durchtränkung mit mystischen Elementen statt, während die arabische Kultur, nachdem sie ihren anregenden Einflufs auf das christliche Abendland ausgeübt hatte, einem raschen Verfall entgegenging. Das mächtige Kalifat von Bagdad löste sich in eine Anzahl kleinerer Reiche auf, welche durch den von Asien im 13. Jahrhundert daherbrausenden mongolischen Völkerstrom vernichtet wurden. Ähnlich erging es der maurischen Herrschaft in Spanien. Die kleinen Reiche mohammedanischen Bekenntnisses, welche sich dort im Verlauf des 11. Jahrhunderts gebildet hatten, wurden durch die von Norden her vordringende christliche Bevölkerung unterjocht und dadurch über die blühende Halbinsel zunächst Verödung gebracht. Die fanatische Zerstörungswut, welche die ersten Christen, wie auch die Araber im Beginn ihrer Laufbahn an den Schätzen der Wissenschaft ausgelassen hatten, schien wieder aufgelebt zu sein. Als nach der Vereinigung von Kastilien und Aragon im Jahre 1236 Cordova fiel, ging z. B. die grofse Bibliothek daselbst mit ihren hunderttausenden von Bänden auf Befehl des Kardinal Ximenes in Flammen auf.

Indessen schon beginnt, von den Arabern angefacht, der wissenschaftliche Geist sich in den nördlichen Ländern Europas auszubreiten. Die Elemente der Kultur, welche die Römer nach Frankreich, England und Deutschland gebracht hatten, waren durch die Ereignisse der Völkerwanderung wieder hinweggefegt worden. Als nach Beendigung derselben in Deutschland und im nördlichen Gallien das Reich der Franken entstand und die Ausbreitung des Christentums durch diese politische Schöpfung sehr gefördert wurde, befanden sich die genannten Länder wieder im

Zustande der tiefsten Unkultur. Der Gefahr einer Zersplitterung entging das neue Reich dadurch, dafs es in die Hände des thatkräftigen Geschlechtes der Karolinger gelangte. Diese waren es auch, welche der Überschwemmung Westeuropas durch die Araber einen Damm entgegensetzten und eine christlich-germanische Kultur in ihrem sich immer gewaltiger ausdehnenden Reiche begründeten.

Durch das energische persönliche Interesse, welches Karl der Grofse trotz seiner zahlreichen Kriege für die Wissenschaft bekundete, kam in den Entwicklungsgang des Abendlandes ein etwas schnelleres Tempo. Gelehrte Ausländer wurden an den Hof gezogen und eine Art Akademie gebildet. Die Schulen sollten nach der Absicht Karls nicht länger ausschliefslich der Erziehung der Geistlichen dienen, sondern Bildung in immer weitere Kreise des Volkes tragen. Die Klosterschulen zu Fulda und zu St. Gallen wurden zu wissenschaftlichen Pflanzstätten ihrer Zeit und ihres Landes. Der gelehrte Leiter der ersteren, Rhabanus Maurus, welcher den Ehrennamen primus Germaniae praeceptor erhielt, hinterliefs ein Sammelwerk[1]), welches unter anderem einen Abrifs der damaligen Naturkunde bietet. Man erkennt, dafs dieses Wissen weit geringer war als dasjenige der letzten Jahrhunderte des Altertums. Der Abrifs des Maurus enthält nämlich nichts Originelles, sondern fufst auf den Schriften der Alten, deren Inhalt in korrumpierter Darstellung wiedergegeben wird.

Als nach Karls des Grofsen Tode das Frankenreich zerfiel und Kriege ohne Ende zwischen den neu entstandenen Reichen, sowie Fehden im Innern derselben und zur Abwehr von aufsen herandrängender Feinde herrschten, wurden die geringen Ansätze, welche die Regierung des grofsen Kaisers gezeitigt hatte, zum gröfsten Teile wieder vernichtet. Darauf folgte eine Zeit, in welcher das Interesse des Abendlandes ausschliefslich in der Bekämpfung des Orients aufging. Dann erst wird der Tiefpunkt des Mittelalters überwunden. Zwar hatten die Kreuzzüge dem Occident manche Wunde geschlagen, sie hatten aber auch den geistigen Horizont in ähnlicher Weise erweitert, wie es zur Zeit des Griechentums die Züge Alexanders vermocht hatten. Waren ferner in den vorhergehenden Jahrhunderten geistige Anregungen besonders von den mohammedanischen Bewohnern Spaniens ausgegangen, so kam man jetzt mit diesem während des Stillstandes

---

1) De Universo libri XXII.

der germanischen Länder seine Blütezeit erlebenden Volke auch vom südlichen Italien her in Berührung. Dieser Einflufs erstreckte sich nicht nur auf den Norden der Halbinsel, sondern wurde infolge der Römerzüge auch auf den nördlich der Alpen gelegenen Teil Europas ausgedehnt. Aber auch von Byzanz und dem Orient selbst gelangten mannigfache Anregungen nach Mittel- und Westeuropa. Der Handel hob sich durch die engere Fühlung, in welche Italien, Deutschland und Frankreich sowohl unter sich wie mit dem Morgenlande traten. Die Seefahrer waren durch die Vermittlung der Araber in den Besitz des Kompasses gelangt. Gleichzeitig mit dem Handel blühte das Städtewesen empor. Der sich mehrende Wohlstand förderte das Interesse an geistigen Dingen. Hochschulen nach dem Muster der arabischen gelehrten Schulen entstanden zunächst in Neapel, Salerno und Bologna, darauf in Paris, Oxford und Cambridge. Im 14. Jahrhundert folgte Deutschland mit der Gründung der Universitäten zu Prag, Wien und Heidelberg. Zwar waren diese Orte anfangs vorwiegend Stätten scholastischen Denkens und Gezänks; die Gelehrten waren jedoch vom klösterlichen Zwange befreit worden, ein Umstand, der für die Folge von grofser Bedeutung werden sollte.

Im 13. Jahrhundert gelangte der Geist der wiederauflebenden Wissenschaften besonders in zwei Männern zum Ausdruck, deren Lebensumstände und Verdienste uns zunächst beschäftigen. Es waren dies Albertus Magnus in Deutschland und sein Zeitgenosse Roger Bacon in England. Der erstere, dessen eigentlicher Name Albert von Bollstatt lautet, wurde gegen den Ausgang des 12. Jahrhunderts in einem schwäbischen Städtchen geboren[1]). Er empfing seine Vorbildung in Padua. Später lehrte er an der Dominikanerschule zu Köln, zeitweilig auch an der Universität zu Paris, wo der Orden einige Lehrstühle besetzen durfte. In letzterer Stadt fand er solchen Zulauf, dafs kein Gebäude die Schar seiner Zuhörer zu fassen vermochte. An Wissensdrang fehlte es im 13. Jahrhundert also nicht, wohl aber an einem würdigen Gegenstand zur Befriedigung desselben. Die Schriften des Aristoteles und Theophrast waren bisher nur durch Übersetzungen bekannt geworden. Ihr Inhalt war es, der das damalige Wissen ausmachte. Jede selbständige Regung wurde durch einen Autoritätsglauben niedergehalten, wie ihn kein Zeitalter in solchem Grade besessen hat. Verfolgung und Tod trafen

[1]) Um 1190 in Lauingen.

denjenigen, der sich gegen diesen Autoritätsglauben, der alles mit Blindheit geschlagen zu haben schien, auflehnte. Man darf daher auch von Magnus nicht allzu viel erwarten, wenn er auch zu den hervorragendsten Männern gehört, die uns in der Geschichte des Mittelalters begegnen. Ihm ist es vor allem zu verdanken, dafs man auf dem Gebiete der Naturwissenschaften wieder an die Schriften des Altertums anknüpfte. Und zwar begann man auf die griechischen Texte zu fufsen, welche zum Teil schon um diese Zeit von Konstantinopel aus in das Abendland gelangten, während man vorher die arabischen Bearbeitungen in das Lateinische übertragen hatte, eine zwiefache Hinüberleitung, durch welche der Inhalt vielfach entstellt und verdorben übermittelt worden war. Was man vor Magnus an Kenntnissen über die Tier- und Pflanzenwelt besafs, verdiente kaum noch den Namen einer Zoologie und Botanik. Einiges Interesse brachte man zwar den in der Bibel erwähnten Geschöpfen entgegen, welche in dem „Physiologus", einem sehr verbreiteten Buche von unbekannter Herkunft, behandelt wurden. Dasselbe enthielt indessen die unglaublichsten Fabeln, wie die später oft wiederkehrende Erzählung, dafs der auf dem Wasser ruhende Walfisch von den Schiffern für eine Insel gehalten wird, an welcher sie ihr Schiff befestigen. Auf der vermeintlichen Insel wird dann ein Feuer angezündet. Das Tier fühlt die Glut desselben, taucht unter und zieht Schiff und Menschen in die Tiefe.

Seit Magnus ist man auch bestrebt, die von den Alten beschriebenen Naturkörper, insbesondere die Pflanzen, wieder aufzufinden. Dies Bemühen war jedoch wenig lohnend, da einmal die vorhandenen Beschreibungen meist nicht hinlänglich genau waren, um danach die Arten identifizieren zu können, und man andererseits ohne Berücksichtigung der geographischen Verbreitung die Pflanzen Griechenlands und Kleinasiens in Mitteleuropa suchte. Immerhin war es ein Fortschritt, dafs man sich mit den Naturkörpern wieder unmittelbar zu beschäftigen begann. Die Wiederbelebung der beschreibenden Naturwissenschaften war in erster Linie die Folge eines solchen kommentatorischen Bemühens. Dasselbe führte auch zur Herstellung von botanischen Gärten und Kräuterbüchern, den ersten botanischen Dingen, die uns an der Schwelle der neueren Zeit begegnen.

Albertus Magnus war auch der erste Deutsche, der auf dem Gebiete der Chemie etwas leistete, ohne sich jedoch über Geber zu erheben. Dafs unedle Metalle sich in edle verwandeln liefsen, war für ihn eine ausgemachte Sache.

Ein fast noch höheres Interesse als dieser „Doctor universalis“, dessen Schriften nicht nur die Naturbeschreibung, die Chemie und die Physik, sondern alle Wissenszweige, insbesondere auch die Philosophie und die Theologie umfafsten, beansprucht der „Doctor mirabilis“, der englische Franziskanermönch Roger Bacon, der erste in der Reihe der Märtyrer, welche die Geschichte des Wiederauflebens der Wissenschaften aufzuweisen hat.

Roger Bacon wurde im Jahre 1214 geboren und studierte in Paris und in Oxford, wo er später ein Lehramt bekleidete. Er besafs nicht nur die umfassende Gelehrsamkeit eines Magnus, sondern zeichnete sich vor diesem durch eine weit gröfsere Klarheit und Freiheit des Denkens aus. In seiner Schrift über die Nichtigkeit der Magie[1]) bekämpft er einen der schlimmsten Auswüchse des Mittelalters, den Glauben an die Zauberei, dessen Anhängern er selbst gegen das Ende seines Lebens eine zehnjährige Kerkerhaft verdankte. Sehr wahrscheinlich hat jedoch die Anklage auf Zauberei seinem Orden nur als Vorwand gedient, um ihn daran zu hindern, dafs er fortfuhr, gegen den Klerus zu Felde zu ziehen. Besafs doch Bacon die Kühnheit, auf eine Reformation der Kirche an Haupt und Gliedern, sowie auf eine kritische Behandlung der heiligen Schrift auf Grund der Urtexte zu drängen. Wir müssen ihn daher als einen der Urheber einer freieren Gestaltung des religiösen Lebens betrachten, welcher fast zur selben Zeit, als die Albigenser ihren Abfall von der Kirche schwer büfsen mufsten, seine Stimme erhob. Wenn dieselbe auch verhallte und nicht imstande war, einen Sturm zu entfesseln, wie ihn z. B. das Auftreten eines Hufs im Gefolge hatte, so verdient Bacon doch unter den Vorboten der Reformationsbewegung genannt zu werden. Dafs er die Werke des Aristoteles angreift, ohne sich allerdings von den Banden der griechischen Philosophie gänzlich frei machen zu können, war für die damalige Zeit ein nicht geringeres Verbrechen.

Bacon erkannte auch die Fehlerhaftigkeit des Julianischen Kalenders und machte dem Oberhaupt der Kirche Vorschläge zur Verbesserung desselben. Seine optischen Kenntnisse gingen über diejenigen Alhazens hinaus; so ist ihm die sphärische Aberration bekannt, d. i. die Thatsache, dafs Strahlen, welche parallel der Achse in einen sphärischen Hohlspiegel fallen, sich nur dann genau in einem Punkte schneiden, wenn sie den Spiegel in gleichem Abstande vom optischen Mittelpunkte treffen. In Bacons

[1]) De nullitate Magiae.



Schriften[1]), welche von phantastischen Ausblicken in die Zukunft der Naturwissenschaften erfüllt sind, finden sich auch Bemerkungen, auf Grund deren man ihm die Priorität hinsichtlich der Erfindung des Teleskops hat vindizieren wollen. Da aber nicht erwiesen ist, dafs Versuche oder auch nur eine klare Einsicht in die Möglichkeit der Konstruktion vorlagen, so sind solche Ansprüche, die von englischer Seite herrühren, zurückzuweisen, ohne dafs hierdurch die Bedeutung des eigenartigen Mannes eine Schmälerung erlitte.

In dem Glauben an die Möglichkeit der Metallveredelung war auch Bacon, der sich eng an Geber anlehnte, befangen. Von Interesse ist es, dafs er ein Gemenge beschreibt, dessen Entzündung eine furchtbare Erschütterung hervorbringe. Als einen Bestandteil desselben nennt er Salpeter. Offenbar haben wir es hier mit dem Schiefspulver zu thun, das um diese Zeit schon von Ostasien her seinen Weg nach Europa gefunden hatte und zuerst in Bergwerken zum Sprengen Anwendung fand, um dann seit dem 14. Jahrhundert seinen Einflufs auf die politische Gestaltung der europäischen Verhältnisse geltend zu machen.

Bis zur Beendigung der Kreuzzüge hatte Westeuropa unter einer überwiegend kirchlichen Führung gestanden. Probleme religiöser und scholastisch-philosophischer Art nahmen während dieser Zeit die denkenden Köpfe fast ausschliefslich in Anspruch. Das nunmehr eintretende Sinken der Hierarchie hatte zur Folge, dafs das Interesse sich auch anderen Gegenständen zuwandte. Zunächst war es die Wiederbelebung der römischen und griechischen Litteratur, die seit Albertus Magnus Zeiten in immer gröfserem Umfange stattfand und zu einer wachsenden Vertiefung in den Geist der Antike führte. Es entstand die Richtung, die man als den Humanismus bezeichnet. Brachte sie den Naturwissenschaften auch keinen unmittelbaren Gewinn, so bewirkte sie doch, dafs mit den mittelalterlichen Elementen, welche das Denken bisher gefangen hielten, gebrochen und für die Behandlung und die Darstellung wissenschaftlicher Gegenstände Vorbilder gewonnen wurden. Seine Blüte erlebte der Humanismus, als nach der Eroberung Konstantinopels (1453) eine grofse Anzahl von Gelehrten und mit ihnen griechische Texte[2]) nach Italien wanderten. Die hervorragendsten unter den Humanisten waren Erasmus von Rotterdam, welcher

[1]) Das Hauptwerk führt den Titel „Opus majus“. Es wurde herausgegeben von Jebb, London 1733.

[2]) Z. B. der griechische Text der Werke des Archimedes.



die erste griechische Ausgabe des neuen Testaments bewerkstelligte, Reuchlin, der die hebräischen Studien ins Leben rief, und Melanchthon. Letzterer entfaltete eine ähnliche Thätigkeit wie Rhabanus Maurus und hat deshalb in der Geschichte des Bildungswesens gleichfalls den Ehrentitel eines Praeceptor Germaniae erhalten. In Deutschland wurde Wittenberg zum Mittelpunkt des Humanismus. Von hier ging auch, durch letzteren gefördert, diejenige freiere Gestaltung des religiösen Lebens aus, welche für das nördliche Europa einen Aufschwung von nie gesehenem Umfang einleiten sollte.

Die Wiederbelebung der Schriften des Altertums kam auf naturwissenschaftlichem Gebiete vor allem der Astronomie zu gute, für welche selbst die Kirche immer ein, wenn auch zunächst nur praktisches Interesse bewiesen hatte. Kleriker wie Laien waren nämlich ängstlich darauf bedacht, eine Verschiebung der Fasttage auf profane Tage, wie sie jede Unvollkommenheit des Kalenders mit sich bringen mufste, zu vermeiden. So waren, um ein drastisches Beispiel zu erwähnen, die Begleiter Magelhaens in hohem Grade bestürzt, als sich bei ihrem Eintreffen in Spanien nach der ersten Weltumsegelung aus der Schiffsrechnung ergab, dafs man um einen Tag hinter dem Kalender zurückgeblieben war und folglich zu unrechter Zeit gefastet hatte. Zuerst glaubte man an einen Irrtum, bis man die Notwendigkeit einer solchen Erscheinung einsah und infolgedessen später die Datumsgrenze einführte[1]).

Gleich Roger Bacon machte der Kardinal Nikolaus von Cusa im Jahre 1436 Vorschläge zur Verbesserung des Kalenders, sowie der Alfonsinischen Tafeln, ohne jedoch damit durchzudringen. Dieser merkwürdige Mann wurde im Jahre 1401 zu Cues an der Mosel als Sohn eines armen Fischers geboren. Seiner Begabung wegen fand er Unterstützung, studierte in Padua und zeichnete sich durch eine mit gewandtem Wesen vereinigte Gelehrsamkeit aus. Im päpstlichen Auftrage gelangte er mehrfach nach Konstantinopel und brachte von dort wertvolle griechische Manuskripte nach Italien. Im Verein mit dem Papste[2]) bemühte er sich, griechische Werke durch Übersetzung ins Lateinische allgemein zugänglich zumachen. Bei seiner Beschäftigung mit der Mathematik, Mechanik und Astronomie, der er mit Vorliebe oblag, knüpfte er überall an Euklid, Archimedes und andere alte Schriftsteller

[1]) Peschel, Geschichte der Erdkunde. 1877. S. 386.

[2]) Nikolaus V.

an. Er war es auch, der zuerst die eingewurzelte Ansicht, dafs die Erde der Mittelpunkt der Welt sei, erschütterte. Nach seiner Lehre ist sie ein Gestirn und befindet sich, wie alles in der Natur, auch in Bewegung.

Gleich einer Stelle aus dem Dialog des Galilei mutet es uns an, wenn Cusa[1]) schreibt: „Es ist jetzt klar, dafs die Erde sich wirklich bewegt, wenn wir es gleich nicht bemerken, da wir die Bewegung nur durch den Vergleich mit etwas Unbeweglichem wahrnehmen.“ Auf den Gedanken, dafs die Fixsterne ein solches Unbewegliches sind, kommt Cusa indessen nicht, er würde sonst die Quintessenz des kopernikanischen Systems vorweggenommen haben. „Wüfste jemand nicht,“ so fährt er fort, „dafs das Wasser fliefst, und sähe er das Ufer nicht, wie würde er, wenn er in einem auf dem Wasser dahingleitenden Schiffe steht, bemerken, dafs das Schiff sich bewegt? Da es daher jedem, er mag auf der Erde, der Sonne oder einem andern Sterne sich befinden, vorkommen wird, als stände er im unbeweglichen Mittelpunkte, während alles um ihn her sich bewegt, so würde er, in der Sonne, im Monde, im Mars stehend, immer wieder andere Pole angeben.“ Blieb auch Cusas System[2]) weit von der Wahrheit entfernt, so wurde doch zum erstenmale an der durch tausendjähriges Bestehen geheiligten Autorität des Ptolemäos gerüttelt und der grofsen Umwälzung, welche 100 Jahre später durch Kopernikus auf dem Gebiete der Astronomie eintrat, vorgearbeitet.

Ein ähnliches Verhältnis wie zwischen Cusa und Kopernikus begegnet uns auf dem Boden Italiens zwischen Lionardo da Vinci und Galilei, der gleich Kopernikus als Stern erster Gröfse am Himmel der Wissenschaft erglänzt.

Lionardo da Vinci wurde im Jahre 1452 in der Nähe von Florenz geboren. Da er frühzeitig künstlerische Begabung zeigte, führte ihn sein Vater einem Meister zu, bei dem er malen und modellieren, sowie Metall giefsen und Gold schmieden lernte. Ein späterer Kunsthistoriker[3]) erzählt, Lionardo sei die Darstellung einer kleinen Nebenfigur auf dem Gemälde des Meisters in solchem Grade gelungen, dafs letzterer sich verschworen habe, keinen Pinsel mehr anzurühren, weil ihn ein Knabe übertroffen.

---

1) Cusa, de docta ignorantia, II 1, 2.

2) Nach demselben wurde der Erde eine dreifache Bewegung beigelegt; den jährlichen Umlauf um die Sonne hat Cusa indes noch nicht gelehrt.

3) Vasari.



Im beginnenden Mannesalter entwickelte da Vinci eine Vielseitigkeit und Genialität sondergleichen. Der Herzog Ludwig Sforza zog ihn nach Mailand. Den Anlafs dazu bot der Sieg, den da Vinci als Violinspieler in einem musikalischen Wettstreit errungen hatte. Und wie lohnte der Künstler die fürstliche Gunst! Er beteiligte sich mit Eifer an dem Bau des Mailänder Domes und gründete, schon damals seine Vorliebe für die mathematisch-naturwissenschaftliche Richtung bekundend, eine Art Akademie. Auch die Schöpfung des Abendmahles, jenes Kolossalgemäldes, durch welches sich Lionardo mit Raphael und Michel Angelo auf eine Stufe stellte, fällt in jene Zeit des Mailänder Aufenthaltes.

Später sehen wir da Vinci an verschiedenen Orten seines Vaterlandes als Ingenieur und Architekt mit Arbeiten grofsen Umfangs, wie Kanalbauten, der Anlage von Befestigungswerken, sowie der Anfertigung von Maschinen aller Art — selbst Flugmaschinen fehlen nicht — beschäftigt. Aus dieser auf das Praktische gerichteten Thätigkeit Lionardos erklärt es sich, dafs er viel über mechanische Probleme nachgedacht und Schriften darüber verfafst hat, welche jedoch infolge ungünstiger Umstände die Entwicklung der Wissenschaften wenig beeinflussen konnten und erst in neuerer Zeit ihre Würdigung gefunden haben[1]). Diese Aufzeichnungen enthalten nämlich manche bemerkenswerten Ansätze, welche zu den Arbeiten Galileis hinüberleiten. Am bekanntesten ist Lionardos Ausspruch geworden, dafs die Mechanik das Paradies der mathematischen Wissenschaften sei, weil man durch sie zu den Früchten derselben gelange. Da Vinci handelt aber auch nach diesem Ausspruch, den erst die nächsten Jahrhunderte in vollem Mafse würdigen gelernt haben. So untersucht er die Wirkung des Hebels für den Fall, dafs die Kräfte in beliebiger Richtung auf denselben wirken. Die Rolle und das Rad an der Welle werden auf den Hebel zurückgeführt. Ferner werden der freie Fall und der Fall auf der schiefen Ebene in Betracht gezogen, wenn auch hier Galilei die erschöpfende Behandlung vorbehalten

[1]) Libri, histoire des sciences mathématiques en Italie. T. III. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873. S. 12 ff. Zwölf Codices von Lionardos Manuskripten befinden sich in der Bibliothek der französischen Akademie. Mit der Veröffentlichung dieses wertvollen Nachlasses wurde aber erst 1881 begonnen: Les manuscrits de Léonard de Vinci, publiés en facsimilés avec transcription littérale, traduction française etc.

blieb. Auch die Reibung und das schwierige Gebiet der Festigkeitslehre beschäftigen da Vinci, der auch auf anderen Gebieten der Naturwissenschaft Anschauungen entwickelt, welche ihn als einen seine Zeit und deren Denken überragenden Geist erkennen lassen. So werden von ihm die Versteinerungen, die man bisher meist für Naturspiele hielt, als Überreste von Organismen gedeutet. Von der Erde heifst es, sie müsse den Bewohnern des Mondes und anderer Gestirne als ein Himmelskörper erscheinen, auch befinde sie sich nicht im Mittelpunkt der Sonnenbahn, ebensowenig wie sie die Mitte des Weltalls einnehme.

Haben Nikolaus von Cusa und Lionardo da Vinci auch keine Grundlagen für die weitere Entwicklung geschaffen, wie Kopernikus und Galilei, welche das zur Ausführung brachten, wozu jenen das Vermögen fehlte, so erkennen wir doch aus der Betrachtung, die wir ihnen widmeten, dafs das Wirken der grofsen Begründer der Wissenschaft kein unvermitteltes war und keineswegs mit dem bisher Erstrebten und Erreichten aufser Beziehung stand. Letztere haben häufig dasjenige, was ihre Zeitgenossen schon dunkel ahnten, aber nur unvollkommen zum Ausdruck zu bringen wufsten, in voller Klarheit erfafst und so begründet, dafs es zum unveräufserlichen Besitz der Menschheit wurde. Auf diesem bauten dann bescheidenere Kräfte weiter, bis das unverdrossene Mühen derselben, welches für den Fortgang der Entwicklung unumgänglich nötig ist und nicht gering geschätzt werden darf, wieder einem der Grofsen auf dem Gebiete der Wissenschaft den Weg geebnet. So hatte auch die Astronomie, bevor Kopernikus sein Wirken begann, an der Wiener Universität eine besondere Pflege durch Peurbach und Regiomontan gefunden. Diese Männer, welche ihrerseits an die Alten anknüpften, haben dem Kopernikus besonders dadurch vorgearbeitet, dafs sie die Beobachtungskunst förderten.

Peurbach wurde im Jahre 1423 in Oberösterreich geboren. Er übersetzte und bearbeitete den Almagest, erkannte aber, obgleich er an der Ptolemäischen Theorie festhielt, dafs eine Verbesserung der vorhandenen Tafeln die erste Bedingung für jeden weiteren Fortschritt der Astronomie sei. Die Abweichungen, welche sich zwischen den alfonsinischen Tafeln[1]) und den Beobachtungen ergaben, erreichten für den Mars z. B. Werte von mehreren Graden. Was Peurbach begonnen, vollendete sein begabtester Schüler und

[1]) Siehe Seite 59 ds. Bds.



Nachfolger auf dem Wiener Lehrstuhl, Johann Müller aus Königsberg, genannt Regiomontanus (1436—1476). Im Jahre 1475 gab derselbe die neuen Tafeln heraus, welche nicht nur für die Astronomie, sondern auch für die Entdeckungsreisen jener Zeit eins der wichtigsten Hülfsmittel wurden. Wir sehen sie in den Händen von Bartholomäus Diaz, sowie in denjenigen Vasco de Gamas auf seinem Wege nach Ostindien. Sie helfen Columbus den neuen Weltteil entdecken, so dafs dasjenige, was der stille Gelehrte in einsamen Nachtwachen erdacht und erforscht, den kühnen Seefahrer befähigt, der europäischen Menschheit die Erde in ihrem ganzen Umfang zu erschliefsen.

Trotz der Einführung des Kompasses wagten nämlich die Portugiesen, selbst nachdem Heinrich der Seefahrer die Entdeckungsreisen organisiert hatte, zunächst nicht, von der Küstenschifffahrt abzugehen. Viele Jahre kamen ihre Fahrzeuge nicht über das Kap Bojador hinaus, weil man dort ein Riff erblickte, dessen Brandung sich weit ins Meer hinaus erstreckte. Dem Ungewissen, das die Wasserwüste des atlantischen Oceans enthielt, vermochte man erst zu begegnen, nachdem die Astronomie der Schiffahrt die zur Ortsbestimmung geeigneten Hilfsmittel verliehen hatte. Zu diesen gehörte in erster Linie der Jakobs- oder Kreuzstab, ein Werkzeug, das zur Messung von Winkeldistanzen auf bewegter See viel geeigneter war, als die von Ptolemäos und Kopernikus benutzten Instrumente, unter denen das mit Kreisteilung versehene Astrolabium und das parallaktische Lineal an erster Stelle zu nennen sind. Fig. 8[1]) zeigt uns eine Abbildung des letzteren, das besonders zur Bestimmung der Höhe der Gestirne gebraucht wurde. Waren solche Instrumente, deren sich auch

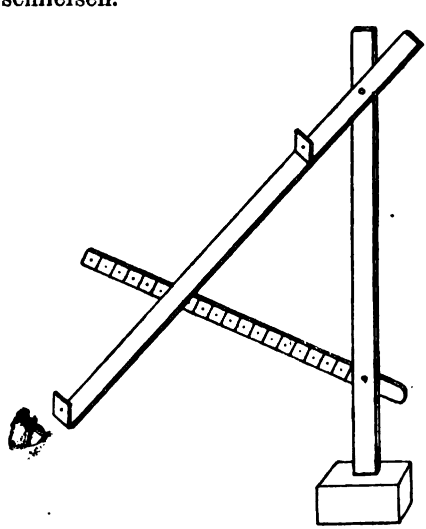


Fig. 8. Das parallaktische Lineal (auch Triquetrum genannt).

1) Montucla, Histoire des Mathématiques. Paris. An VII. Tome I pg. 307.

Tycho bediente, fest aufgestellt, und von hinlänglichen Dimensionen, so liefsen sich recht scharfe Messungen mit denselben anstellen. Tycho, dessen Arbeiten infolge ihrer Genauigkeit die Entdeckungen Kepplers erst ermöglichten, berichtet, an seinen Astrolabien noch ein sechstel Bogenminute abgelesen zu haben.

Wahrscheinlich war der Deutsche Martin Behaim (1459 bis 1506), dem die neuere Zeit den ersten Erdglobus verdankt, auch derjenige, welcher den Kreuzstab nach Portugal gebracht und zu Messungen auf bewegter See empfohlen hat[1]). Aus der beifolgenden Fig. 9 ersehen wir die Einrichtung dieses Instrumentes. Der Querstab a wurde so lange verschoben, bis das am Ende des Längsstabes b befindliche Auge die beiden Objekte, deren Winkeldistanz gefunden werden sollte, über die Enden von a anvisierte. b trug eine Skala, von der man direkt die jeder Stellung entsprechenden Winkel ablesen konnte.

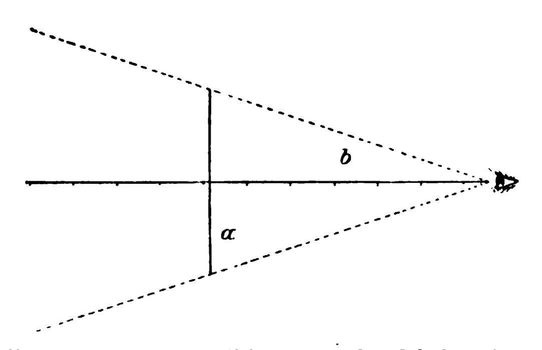


Fig. 9. Schema zur Erläuterung des Jakobsstabes.

Mit einiger Zuverlässigkeit vermochte man indes um diese Zeit nur die geographische Breite zu bestimmen. Hinsichtlich der Länge mufste man sich mit einem blofsen Abschätzen begnügen. Die enge Beziehung, in welche zu Beginn des neueren Zeitalters die Astronomie zur Nautik trat, war beiden Disziplinen nur förderlich. Während der nächsten Jahrhunderte wurde die Hülfsbereitschaft der Astronomen dazu noch durch hohe Belohnungen angeregt, welche die Schiffahrt treibenden Nationen auf die Lösung für die Praxis wichtiger Probleme setzten. Geister ersten Ranges, wie Galilei und Euler verschmähten es nicht, ihr Genie in den Dienst dieser Sache zu stellen. Die Anregung zu den Entdeckungsreisen ist aber nicht nur auf die Fortschritte der Astronomie und die

[1]) Breusing in der Zeitschrift für Erdkunde. Berlin 1868. Über Behaims Globus, sowie andere Globen aus dem Zeitalter der grofsen Entdeckungsreisen siehe: Matteo Fiorini, Erd- und Himmelsgloben, ihre Geschichte und Konstruktion; frei bearbeitet von S. Günther. Leipzig 1895. Kapitel V.

Bedürfnisse des Handels, sondern auch auf die Lektüre der alten Schriftsteller zurückzuführen. Insbesondere gilt dies von Columbus. Alle Nachrichten der Alten bezüglich einer Ausdehnung ihres geographischen Horizontes waren ihm durch das Weltbuch Alliacos[1]) geläufig geworden. Je weiter die Alten die östlichen Grenzen Asiens hinaus verlegt hatten, um so gröfser war die Wahrscheinlichkeit, dafs eine Fahrt nach Westen bald zu bewohnten Ländern führen würde. Nach allem, was von den Voraussetzungen, von denen sich Columbus leiten liefs, bekannt geworden ist, mufs man seine Entdeckungsreisen über alle früheren Unternehmungen dieser Art stellen. Welche Schwierigkeiten er zu überwinden hatte, braucht hier nicht des näheren erörtert zu werden. Erinnert sei hier nur an die Versammlung von Salamanca, welche die Idee des Columbus prüfen sollte. Was mag letzterer wohl empfunden haben, als man ihm entgegenhielt, wenn es auch gelingen sollte, zu den behaupteten Gegenfüfslern hinunterzufahren, so würde es doch unmöglich sein, wieder nach Spanien hinauf zu gelangen.

Dafs sich trotz des gelehrten am Buchstaben klebenden Dünkels, der nicht etwa nur diese Versammlung erfüllte, das Neue siegreich Bahn brach, ist vor allem der Erfindung der Buchdruckerkunst, sowie auch dem Umstande zu verdanken, dafs man im Latein eine Weltsprache besafs, welche einen raschen Austausch der Gedanken zwischen den sich der Civilisation erschliefsenden Völkern ermöglichte.

Es war um 1450, als Gutenberg das erste mit beweglichen Lettern hergestellte Buch herausgab. In Paris, in Nürnberg und an anderen Orten entstanden darauf grofse Druckereien, welche für die damalige gelehrte Welt arbeiteten. Auf die segensreiche Thätigkeit, welche von diesen Stätten ausging, ist es zurückzuführen, dafs die Schranken zwischen dem zunftmäfsigen Gelehrten- und dem Laientum allmählich beseitigt und die Errungenschaften des Forschens und Denkens immer mehr zu einem Gemeingut wurden.

Wir sehen ferner, dafs die Wissenschaft nicht mehr von den Geschicken eines oder weniger Völker abhängt, sondern international wird, wodurch ihr Entwicklungsgang stetiger und weniger als bisher durch gewaltsame Ereignisse der äufseren Geschichte beeinflufst erscheint. Endlich übt die Wissenschaft besonders in der neuesten Zeit von der gewonnenen Stufe aus eine günstige Rück-

---

1) Peter de Alliaco, Imago mundi.

wirkung auf das politische Leben, von dessen Zufälligkeiten sie sich erst freimachen mufste. Indem sie sich zu einem geistigen Bande zwischen den Völkern des Erdballs gestaltet, bewirkt sie immer mehr den Ausgleich nationaler und religiöser Gegensätze und trägt auch dadurch zur Förderung wahrer Humanität und Gesittung bei.

Die Geschichte der Wissenschaften erscheint aus diesen Gründen in der Folge nicht mehr so eng mit dem Gang der Weltgeschichte verknüpft wie bisher, wo wir häufig genötigt waren, das Verständnis der ersteren durch eine Heranziehung der letzteren zu vermitteln.

# III. Die neuere Zeit.

Dasjenige Ereignis, welches gewöhnlich als ein Markstein in der Geschichte der Wissenschaften betrachtet wird und mit dem auch wir die neuere Zeit beginnen lassen, ist die Aufstellung des heliocentrischen Weltsystems durch Kopernikus. Man darf jedoch nicht aufser Acht lassen, dafs der geistige Umschwung, dem wir jetzt begegnen, allmählich erfolgte und man auf allen Wissensgebieten zunächst an das Vorhandene angeknüpft hat. Auch ging für die einzelnen Zweige die Befreiung aus den Formen mittelalterlichen Denkens durchaus nicht gleichzeitig vor sich. Zuerst war es die Astronomie, welche einen erhöhten Standpunkt gewann, ihr folgten die Physik seit dem 17. und die Chemie seit dem 18. Jahrhundert, während die Naturkunde erst im Laufe des gegenwärtigen Jahrhunderts auf den Rang einer exakten Wissenschaft erhoben wurde.

Eine Darstellung der neueren Geschichte der Wissenschaften läfst erkennen, dafs zahlreiche Probleme, um die es sich hier handelt, schon im Altertum gestellt wurden. Während des Mittelalters hatte man dieselben fast sämtlich aus den Augen verloren, die neuere Zeit nimmt sie ziemlich dort, wo das Altertum sie verlassen, wieder auf. Zum grofsen Teil führt sie dieselben ihrer Lösung entgegen, sie knüpft aber auch an die bestehenden und gelösten neue Probleme an, welche noch unsere Zeit vollauf beschäftigen, so dafs die letztere das Gefühl beseelt, dafs sich ein

Ende in der Kette der Entdeckungen und Erfindungen nirgends absehen läfst.

Ein kurzer Rückblick soll uns zunächst das Erbe vergegenwärtigen, welches die neuere Zeit vom Altertum übernahm. Die Elemente der Mathematik waren in der Hauptsache entwickelt und am vollständigsten durch Euklid zusammengefafst worden. Hieran schlossen sich die Untersuchungen des Archimedes und des Apollonios an, welche die wichtige Lehre von den Kegelschnitten begründeten. Der Almagest enthielt die Grundzüge der ebenen und der sphärischen Trigonometrie. Das Ziffernsystem und die Anfänge der Algebra verdankte man als Schöpfungen einer späteren Zeit den Indern und den Arabern.

Die Alten hatten ferner gezeigt, in welcher Weise sich die Mathematik auf astronomische und mechanische Probleme anwenden läfst. Das Werk von Ptolemäos und vor allem die Schriften des Archimedes bieten zahlreiche Beispiele dafür. Über den Lauf der Gestirne hatte man eine grofse Summe von Beobachtungen gesammelt, ferner lagen Ansätze zu einer richtigen astronomischen Theorie vor, welche nur der weiteren Entwicklung harrten. Die Methoden und die Instrumente waren noch im wesentlichen dieselben, deren sich die Griechen bedient hatten. Auch gab es im Beginn der neueren Zeit für die Astronomie keine Aufgabe, die sich nicht schon die Alten gesteckt hätten. Die Bestimmung des Umfangs der Erdkugel, ihr Verhältnis zu den übrigen Himmelskörpern, eine genaue Topographie des Fixsternhimmels, genaue Zeit- und Ortsbestimmung, die Vorhersage astronomischer Ereignisse: alles das waren Probleme, mit denen sich schon das Altertum, insbesondere die alexandrinische Periode, eingehend beschäftigt hatte, und von denen die neuere Zeit vorzugsweise durch das Hauptwerk des Ptolemäos Kenntnis erhielt.

Auch die Statik und die Optik, Gebiete, welche sich für die den Alten geläufige deduktive Behandlung besonders eigneten, empfing die Neuzeit in einer bis zu einem gewissen Grade wissenschaftlich durchgebildeten Form, während bezüglich der übrigen Teile der Physik nur die Kenntnis von mehr oder minder wertvollen Einzelbeobachtungen übermittelt wurde, deren richtige Deutung und weiterer Verfolg der neueren Periode vorbehalten blieb. Es gilt dies namentlich von den magnetischen und den elektrischen Erscheinungen, sowie von dem Verhalten der Gase und der Dämpfe, mit deren Studium Heron von Alexandrien einen vielversprechenden Anfang gemacht hatte.

Auch die Chemie ist in ihren Anfängen auf das Altertum zurückzuführen. Ist es auch nicht mehr möglich im einzelnen zu entscheiden, welche Kenntnisse Geber und seine Nachfolger den späteren Alexandrinern verdankten und welche sie selbständig erwarben, so mufs doch anerkannt werden, dafs die Chemie ausnahmsweise dem Mittelalter die gröfsere Pflege und Förderung verdankt[1]). Die Chemie in ihrer ersten unvollkommenen Gestalt, war so sehr eine Wissenschaft des Mittelalters, dafs sie weit über den Beginn der neueren Zeit hinaus sich nach den in jener Periode gesteckten Zielen bewegt und sich erst spät den neueren Denkformen anbequemt hat.

Auf dem Gebiete der beschreibenden Naturwissenschaften knüpfte man gleichfalls dort an, wo das Altertum mit der Bearbeitung derselben aufgehört hatte. Nachdem das Studium des Aristoteles und des Theophrast die erste Anregung gegeben, wandte man sich aber in steigendem Mafse der eigenen auf keine Autorität zurückgreifenden Beobachtung zu, der sich alsbald durch die Erweiterung des. gesamten menschlichen Gesichtskreises und infolge der Entwicklung der exakten Wissenschaften ein überreiches, den Alten verschlossen gebliebenes Feld eröffnete. Wir gehen jetzt zu der Betrachtung des ersten, den gröfsten Teil des 16. Jahrhunderts umfassenden Abschnitts über, in welchem die im Altertum gelegten Keime nach langem Schlummer sich entfalten sollten.

## 1. Das Zeitalter des Kopernikus.

Das 16. Jahrhundert war auf allen Gebieten eine Zeit der Vorbereitung, der erst im 17. Jahrhundert der bahnbrechende Fortschritt folgte. Das wichtigste Ereignis jenes Zeitraumes ist die Aufstellung des heliocentrischen Weltsystems durch Kopernikus und der hierdurch herbeigeführte Umschwung der Astronomie.

Nikolaus Kopernikus wurde am 19. Februar (alten Stils) des Jahres 1473 in Thorn geboren. Polen und Deutsche haben sich um den Ruhm gestritten, ihn zu den Ihren zählen zu dürfen. Ein solcher Streit ist müfsig. Kopernikus war einer der grofsen Geister, welche durch ihr Wirken der Welt gehören. Thatsache ist, dafs Thorn zur Zeit seiner Geburt unter polnischer Oberhoheit

[1]) Neuerdings vertritt Berthelot die Ansicht, dafs die Araber die Chemie nicht wesentlich gefördert, sondern nur die von den Griechen herrührenden Thatsachen und Theorien überliefert hätten. Berthelot, Sur la chimie au moyen-age. 1893.

stand, im übrigen aber eine, was den gebildeten Teil ihrer Bevölkerung anbetraf, deutsche Stadt war. Auch die Mutter des Kopernikus ist zweifellos deutscher Abkunft gewesen. Bezüglich der Stammeszugehörigkeit des Vaters läfst sich dagegen keine sichere Entscheidung treffen. Soviel ist jedoch gewifs, dafs Kopernikus selbst in seinem Fühlen und Denken ein Deutscher war und sich in allen Dokumenten, die auf uns gelangt sind, wenn er nicht Latein schrieb, der deutschen Sprache bedient hat.

Nachdem Kopernikus das Vaterhaus verlassen, bereitete er sich in Krakau für den medizinischen Beruf vor. Bei der Vielseitigkeit, mit der man in früheren Jahrhunderten die Universitätsstudien betrieb, wurde er indes auch mit der Mathematik und mit der Astronomie vertraut. Auf letzterem Gebiete genofs die Universität Wien, wo Peurbach und Regiomontan gelehrt hatten, einen vorzüglichen Ruf. Dorthin begab sich nach Beendigung seiner medizinischen Studien, der spätere Reformator dieser Wissenschaft. Zum Glück für letztere war Kopernikus nicht gezwungen, sofort dem gewählten Berufe nachzugehen. Er war nämlich in materieller Hinsicht dadurch günstig gestellt, dafs sein Oheim mütterlicherseits, der Bischof von Ermeland, sich seiner annahm und ihm später eine Domherrenstelle des Frauenburger Kapitels verschaffte. Von 1495—1505 hielt sich Kopernikus meist in Italien auf. Hier hat er sich in der praktischen Astronomie vervollkommnet und Mathematik gelehrt; im übrigen ist aus diesem langen Abschnitt seines Lebens, der für die Entwicklung seiner wissenschaftlichen Ideen ohne Zweifel von grofser Bedeutung gewesen ist, sehr wenig bekannt geworden. Der Gedanke, welcher seinem System zu Grunde liegt, bemächtigte sich des Kopernikus, sobald er in der Blütezeit der Manneskraft selbständig forschend an die Natur herantrat. Diesen Gedanken zu verfolgen und zu begründen, erschien ihm als eine Aufgabe wohl wert, derselben sein ganzes übriges Leben in stiller Forscherarbeit zu widmen. Seit der im Jahre 1505 erfolgten Rückkehr bis zu seinem Tode am 24. Mai des Jahres 1543 verblieb er deshalb, von einigen kleineren Reisen abgesehen, in seinem Bistum, das er auch zeitweilig als Vikar verwaltete. Ein beschauliches Leben hat er jedoch in dieser Zurückgezogenheit nicht geführt. Die Zeit, welche ihm die mit seinem Domherrnamt verbundenen Pflichten übrig liefsen, war der Armenpraxis in Frauenburg und der sorgfältigen Ausarbeitung jenes grofsen Werkes gewidmet, in welchem er seine Theorie, sowie die jahre-

langen in zahlreichen Nachtwachen gewonnenen Beobachtungen, auf welche er dieselbe stützte, niedergelegt hat.

Zwei hervorragend wichtige Abschnitte des Kopernikanischen Werkes sind im I. Bande dieses Buches[1]) wiedergegeben, die Vorrede nämlich und das Kapitel, welches von der Ordnung der Himmelskreise handelt und den Grundgedanken des heliocentrischen Systems zum Ausdruck bringt. In der an den Papst gerichteten Vorrede wird der Anlafs zu dem Werke und die Geschichte desselben mitgeteilt. Wir erfahren, dafs die Schrift „bis in das vierte Jahrneunt hinein" verborgen blieb, bis sie zum Druck gelangte. Jedoch hatten befreundete Astronomen, sowie Geistliche, welche sich für die Astronomie interessierten, Kenntnis von derselben erhalten. Ihrem Drängen nach Veröffentlichung setzte Kopernikus aus begreiflichen Gründen Widerstand entgegen. Einmal beseelte ihn der Wunsch, Besseres an die Stelle des Vorhandenen zu setzen. Kam es doch vor allem darauf an, der beobachtenden Astronomie einen Dienst zu leisten, und ihr das neue Lehrgebiet in einem solch vollkommenen Zustande zu übermitteln, dafs es an die Stelle des alten mit den praktischen Bedürfnissen eng verwachsenen Systems treten konnte. Von einem völligen Gelingen in dieser Richtung blieb Kopernikus, wie er wohl selbst am besten wufste, jedoch noch weit entfernt. Des weiteren mochte er wohl ahnen, welch einen Sturm es entfesseln würde, wenn man es versuchte, einer seit Jahrtausenden geheiligten Anschauung den Boden zu entziehen und eine neue an die Stelle zu setzen, welche der bisher den wesentlichsten Teil der Welt ausmachenden Erde eine nur bescheidene Stelle unter zahllosen Körpern gleichen, ja selbst höheren Ranges einräumte. Ganz zu geschweigen der Gefahr, der eine solche Neuerung ausgesetzt war, als ketzerisch und mit der Schrift im Widerspruche stehend verdammt zu werden.

Erst ein Jahr vor seinem Tode vermochte man daher Kopernikus zur Herausgabe seiner „Kreisbewegungen"[2]) zu bestimmen. Der Gelehrte[3]), welcher den in Nürnberg erfolgenden Druck des Buches überwachte, hielt es, ohne von Kopernikus hierzu ermächtigt zu sein, für geraten, in einem besonderen Vorwort das

[1]) Siehe Bd. I, Abschnitt 5.

[2]) Nicolai Copernici Torinensis, de revolutionibus orbium coelestium libri VI. Eine Übersetzung von C. L. Menzzer hat der Kopernikus-Verein zu Thorn im Jahre 1879 herausgegeben.

[3]) Osiander.



Ganze als eine Hypothese hinzustellen. Dafs dies jedoch durchaus nicht im Sinne des Verfassers lag, geht aus der Lektüre der im I. Bande gebotenen Abschnitte deutlich genug hervor.

Nicht nur die Anregung zur Aufstellung seines Systems empfing Kopernikus aus den Schriften der Alten, von denen er Plutarch und Cicero in der Vorrede namhaft macht, sondern auch den Keim zu seiner Idee fand er bei ihnen vor. Im Beginne des wichtigen Kapitels über die Ordnung der Himmelskreise[1]) erwähnt Kopernikus nämlich die im Altertum entstandene Ansicht, dafs Merkur und Venus, von denen es aufgefallen war, dafs sie sich niemals weit von der Sonne entfernen, die letztere als ihren Mittelpunkt umkreisen. Kopernikus nennt Martianus Capella (6. Jahrhundert nach Chr. Geb.) als seinen Gewährsmann. Dieser verlegte gleich anderen Berichterstattern den Ursprung der gedachten Lehre nach Ägypten. Neuere Forschungen haben jedoch den Beweis geliefert, dafs dieselbe auf Herakleites Pontikos, einen Schüler Platos zurückzuführen ist[2]). Herakleites war auch darin ein Vorläufer des Kopernikus, dafs er die tägliche scheinbare Bewegung der Himmelskugel aus einer Drehung der Erde von West nach Ost erklärte. Ihre Fortsetzung fanden diese Lehren dann durch Aristarch von Samos. Aristarch setzte[3]) die Sonne, die er für 300 mal so grofs wie die Erde hielt, in den Mittelpunkt und liefs die letztere sich im jährlichen Umlauf um jene bewegen. Die heliocentrische Weltansicht war dem Altertum also wohl bekannt. Sie fand sogar den Beifall vieler, trug indes ihrem Urheber ganz ähnlich, wie es später den ersten erklärten Anhängern der Kopernikanischen Systems erging, von anderer Seite eine Anklage wegen Gottlosigkeit ein. Doch konnte die heliocentrische Theorie im Altertum keine Wurzel schlagen, da sie noch nicht imstande war, den Anforderungen der praktischen Astronomie zu genügen. Letztere erblickte ihre Aufgabe ja weniger darin, die beobachteten Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Planeten zu erklären, als sie genau zu messen und im voraus zu bestimmen.

Dafs die ältere, sowie in der ersten Zeit ihres Bestehens auch die neuere Theorie den Beobachtungen nicht genügend ent-

---

[1]) Siehe Bd. I, Seite 22.

[2]) Schiaparelli, Die Vorläufer des Kopernikus im Altertum, übersetzt von Curtze.

[3]) Siehe Bd. I, Seite 11 und Bd. II, Seite 19.



sprachen, lag daran, dafs beide an dem Vorurteil festhielten, die Bewegung der Himmelskörper erfolge gleichmäfsig und im Kreise. Aristoteles hatte dies gelehrt; ihm und allen, die sich nach ihm mit der Astronomie befafsten, Kopernikus eingeschlossen, war dies ein a priori feststehender Satz. Die Welt ist kugelförmig, die Erde ist gleichfalls kugelförmig, die Bewegung der Himmelskörper erfolgt gleichmäfsig, ununterbrochen und im Kreise: so lauten die Überschriften der wichtigsten Kapitel des Kopernikanischen Werkes. Und warum verhält es sich so? Weil Kreis und Kugel die vollkommensten Formen sind und kein Grund für eine ungleichförmige Bewegung vorliegt, lautet die Antwort. Das goldene Wort des Ptolemäos, wer der Wissenschaft wahrhaft dienen will, mufs vor allem freien Geistes sein, war selbst für einen Mann von der Bedeutung des Kopernikus leichter gesagt als befolgt. Auch Keppler, wie wir sehen werden, war anfangs in dem gleichen Vorurteil befangen. Ihm gelang es aber, sich von demselben frei zu machen. Als er eingesehen, dafs die Beobachtungen sich damit nicht in Einklang bringen liefsen, lieferte er den Nachweis, dafs sich die Planeten nicht im Kreise, sondern in Ellipsen bewegen und ihre Bewegung ungleichförmig ist. Jetzt waren alle Widersprüche gelöst, in denen die heliocentrische Theorie sich den Beobachtungen gegenüber befand und diese Theorie erst lebensfähig geworden. Mit dem Kern derselben möge der Leser sich an der Hand des im I. Bande mitgeteilten Auszugs durch Kopernikus selbst vertraut machen lassen[1]). Was der letztere gut zu erklären wufste, waren vor allem das scheinbare Rückwärtsgehen und Stillstehen der Planeten, sowie die Veränderungen in der scheinbaren Gröfse dieser Himmelskörper, welche besonders beim Mars beträchtlich sind. Zur Erklärung anderer Ungleichmäfsigkeiten blieb jedoch nichts weiter übrig als auf die Epicyklentheorie unter Beibehaltung der Sonne als Mittelpunkt des ganzen Systems zurückzugreifen.

Für die Richtigkeit seiner Darstellung konnte Kopernikus keine direkten Beweise, sondern nur den Grund der gröfseren Einfachheit ins Feld führen. Dem Einwand, dafs die jährliche Bewegung der Erde sich in einer scheinbaren Veränderung der Fixsternörter offenbaren müsse, wufste er nur dadurch zu begegnen, dafs er diese Himmelskörper in eine Entfernung versetzte, gegen welche der Durchmesser der Erdbahn verschwindend klein sei. Direkte Beweise sowohl für die Rotation als auch für die Revo-

[1]) Siehe Bd. I, Seite 22.

lution der Erde haben erst spätere Jahrhunderte gebracht und dadurch die Kopernikanische Theorie zur unumstöfslichen Wahrheit erhoben[1]). Neben ihrer Einfachheit konnte Kopernikus für seine Theorie wie Aristarch auch den Umstand ins Feld führen, dafs die Sonne der bei weitem gröfsere Weltkörper sei. Das Verhältnis Mond : Erde : Sonne ist nach ihm gleich 1 : 43 : 6937[2]). Ferner nahm er die Entfernung der Sonne auf Grund von Beobachtungen, die nach der von Aristarch herrührenden Methode ausgeführt wurden, zu 1197 Erdhalbmessern an. Auch dieses Resultat blieb weit hinter der Wirklichkeit zurück. Wie wir später sehen werden, wurde erst durch Messungen, welche die Vorübergänge der Venus vor der Sonnenscheibe zum Ausgang nahmen, im 18. Jahrhundert ein zuverlässiger Wert für dieses Grundmafs der Astronomie gefunden. Derselbe übertraf den von Kopernikus angegebenen Wert fast um das Zwanzigfache.

Das Erscheinen der „Kreisbewegungen“, deren erste Druckbogen Kopernikus noch auf dem Sterbebette von seinen Freunden empfangen haben soll, veranlafste durchaus nicht einen solchen Aufruhr unter den Geistern, wie man es der Wichtigkeit der darin ausgesprochenen Ansichten gemäfs erwartet haben sollte. Dies hatte mehrere Gründe. Die zeitgenössische Astronomie beachtete die Neuerung wenig; einige dem Kopernikus befreundete Astronomen ausgenommen, hielt man an der Ptolemäischen Lehre fest, zu der man überdies in jener Zeit, welche noch keine Lehrfreiheit kannte, verpflichtet war. Ferner gaben die dem neuen System noch anhaftenden Unvollkommenheiten den berufsmäfsigen Astronomen, welchen der praktische Wert ausschlaggebend sein mufste, ein gewisses Recht, zunächst das Hergebrachte in Geltung zu belassen. Auch hatte es Kopernikus verstanden, seine Neuerung in einer alles Tendenziöse und Polemische ausschliefsenden Weise vorzutragen, und jedes Hinüberspielen auf das Gebiet biblischer und religiöser Anschauungen vermieden. So kam es, dafs selbst die Kirche, welche von jedem astronomischen Fortschritt eine Verbesserung ihrer Zeitrechnung erhoffte, das Buch, dem ja sogar eine Widmung an den Papst voranging, duldete und dem Gegensatz, in den dasselbe, vom Standpunkt des starren Wort-

1) Die Drehung der Erde wurde durch Fallversuche, sowie den Foucault'schen Pendelversuch nachgewiesen, während ihre Fortbewegung im Raume aus der Aberration und der Fixsternparallaxe geschlossen wurde.

2) Anstatt 1 : 49 : 1300000.



glaubens aus betrachtet, zur biblischen Überlieferung trat, kein Gewicht beilegte.

Der grofsen Masse, selbst der Gebildeten, fehlte bei der damals herrschenden Unkenntnis in naturwissenschaftlichen Dingen aber durchaus das Vermögen, mit eigenem Urteil an die neue Lehre heranzutreten. So läfst sich die Äufserung unseres grofsen Reformators Martin Luther wohl entschuldigen, welcher meinte: „Der Narr will die ganze Kunst Astronomia umkehren, aber die heilige Schrift sagt uns, dafs Josua die Sonne stillstehen hiefs und nicht die Erde.“ Daran aber, dafs diese Neuerung auf dem Gebiete der Astronomie der Kirche schaden, geschweige denn das religiöse Gefühl beeinträchtigen könnte, hat Luther schwerlich gegedacht. Etwas ängstlicher war schon Melanchthon, der auch mehr Verständnis für das Unerhörte dieser Neuerung besafs. Selbst ein eifriger Astrologe, hatte er das Gebäude der damaligen Astronomie in seinem Lehrbuch der Physik zur Darstellung gebracht. Die neue heliocentrische Ansicht hielt er für so gottlos, dafs er der Obrigkeit sie zu unterdrücken empfahl. Auch der mehrere Generationen später lebende Bacon, welchen übertriebene Schilderungen als den Begründer der neueren Naturwissenschaft gefeiert haben, war der erklärte Gegner des Kopernikus und zwar zu einer Zeit, als die Frage nach der Richtigkeit des heliocentrischen Systems zu einer die Welt der Geister bewegenden geworden war. Erst damals im Zeitalter Galileis nahm die Kirche zu dieser Frage entschieden Stellung und verbot die „Kreisbewegungen“. Das bezügliche Verdikt stammt aus dem Jahre 1616 und wurde erst 1822 wieder aufgehoben, nachdem sein Bestehen jedoch fast in Vergessenheit geraten war.

Wie auf dem astronomischen, so machte sich auch auf den übrigen Gebieten der Naturwissenschaft während des 16. Jahrhunderts das Bestreben geltend, die Fesseln der Autorität zu sprengen und Beobachtung und Nachdenken an die Stelle derselben zu setzen. Eine zweite epochemachende That, die sich derjenigen des Kopernikus an die Seite stellen liefse, haben wir jedoch nicht zu verzeichnen.

Auf dem Gebiete der Physik ist unter den Zeitgenossen vor allem Maurolykus (1494—1575) zu nennen. Er lehrte in Messina Mathematik und entstammte einer derjenigen Familien, welche nach der Eroberung von Konstantinopel die Stadt verlassen hatten, um sich den Verfolgungen der Türken zu entziehen. Maurolykus machte sich zunächst um die Mathematik

verdient, indem er in einem umfangreichen Sammelwerke alles das zusammenfafste, was er selbst an mathematischem Wissen den griechischen und arabischen Quellen verdankte. Ein besonderes Verdienst erwarb er sich durch die Herausgabe der archimedischen Werke, sowie von Schriften des Apollonios, dessen Lehre von den Kegelschnitten durch ihn hinsichtlich der Tangenten und Asymptoten sogar erweitert wurde. Sein mathematisches Können bethätigte Maurolykus ferner auf dem Gebiete der Optik, welches sich schon früher der Mathematik besonders zugänglich erwiesen hatte. Sein optisches Werk, das er „Über Licht und Schatten“ betitelte[1]), enthält manchen Fortschritt und viele Richtigstellungen früherer Irrtümer. Maurolykus ist der erste Physiker, welcher die Wirkung der Krystallinse im Auge richtig erklärt, indem er darthut, dafs sich die Strahlen hinter derselben schneiden. Die Kurz- und Übersichtigkeit leitet er aus einem übermäfsigen oder zu geringen Grad der Linsenkrümmung ab. Wenn er damit auch nicht ganz das Wesen der Sache traf, da man heute Anomalien in den Dimensionen des Augapfels als den Grund dieser Mängel betrachtet, so erschlofs sich doch ein theoretisches Verständnis der Brillen, welche damals schon länger in Gebrauch waren.

Ein schönes Beispiel, wie verschieden ein und dasselbe Problem in aristotelischem Sinne und im Geiste der neueren, den wissenschaftlichen Prinzipien sich erschliefsenden Zeit behandelt wurde, bietet die Erklärung des runden Sonnenbildchens. Es ist eine allbekannte Erscheinung, dafs die Sonnenstrahlen, welche durch eine unregelmäfsig gestaltete Öffnung, etwa ein Schlüsselloch oder eine Lücke zwischen den Blättern, senkrecht auf eine ebene Fläche fallen, dort eine kreisförmiges Bild entstehen lassen. Die Aristoteliker waren mit ihrer Erklärung, welche die Hohlheit des nicht durch genügende Induktion gestützten philosophischen Denkens treffend illustriert, bald fertig. Sie schrieben die Erscheinung einer Cirkularnatur des Sonnenlichtes zu, setzten also an die Stelle einer Erklärung ein Wort, welches das bezeichnet, was zu erläutern bleibt. Geht man dagegen von der Thatsache aus, dafs jeder Punkt der Sonnenoberfläche Licht aussendet und ein Bild von der Gestalt der Öffnung giebt, so werden die unzähligen Bilder, welche sich teilweise decken, insgesamt ein Flächengebilde entstehen lassen, das sich als eine Projektion des leuchtenden Körpers darstellt. Daher mufs das Bildchen bei einer Sonnenfinsternis der Gestalt der Sonnen-

---

[1]) **Maurolykus**, De lumine et umbra. Venedig 1575.

scheibe entsprechend sichelförmig erscheinen, wie es die Beobachtnng auch ergiebt[1]).

Etwas später fällt die Wirksamkeit des Italieners Johann Baptista Porta (1538—1615). Die Erscheinung dieses Mannes ist typisch für dasjenige Stadium einer Disziplin, in welchem dieselbe noch nicht zu strengerer Wissenschaftlichkeit gelangt ist. Wir finden bei Porta und seinen Zeitgenossen, die sich mit physikalischen und chemischen Dingen beschäftigen, eine Verquickung von Richtigem und Unrichtigem, von Klarheit mit Mystik und Aberglauben, welche heute, nachdem das Niveau der gesamten Bildung ein so viel höheres geworden ist, eigentümlich anmutet. Das Streben dieser Männer nach gröfserer Einsicht ging ferner mit einem marktschreierischen Treiben Hand in Hand, durch welches sie ihr eigenes und das Ansehen ihrer Wissenschaft den Zeitgenossen gegenüber heben wollten.

Das Buch, in welchem Porta ganz dem Geschmacke seiner Zeit entsprechend die Naturwissenschaften behandelt, ist „Die natürliche Magie“[2]) betitelt und ähnelt in manchen Teilen einem modernen Zauberbuche, da es dem Autor fast immer darauf ankommt, den Leser zu belustigen oder durch das Überraschende der Erscheinung in Verwunderung zu versetzen. Wichtig ist, dafs Porta in seinem Opus eine von ihm herrührende Einrichtung der Camera obscura beschreibt. Bis dahin hatte man bei diesem Instrument das Licht durch eine enge Öffnung auf einen dahinter befindlichen Schirm fallen lassen. Porta blieb es vorbehalten, in der vergröfserten Öffnung eine Linse anzubringen, wodurch die Bilder bedeutend an Schärfe gewannen.

Von Interesse ist ferner eine von Porta herrührende Einrichtung, den Dampf zum Heben von Wasser zu benutzen. Letzteres befindet sich hierbei in einem Gefäfs; der Dampf drückt auf die Oberfläche des Wassers und treibt es durch ein heberartiges, bis auf den Boden tauchendes Rohr aus dem Behälter heraus. Eine derartige Vorrichtung, welche gegen das Dampfrad des Heron keinen wesentlichen Fortschritt bedeutet, als das erste Stadium der Dampfmaschine zu bezeichnen, ist zwar nicht gerechtfertigt, doch

---

1) Die Erklärung des Maurolykus beruht gleichfalls auf der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes; jeder Punkt der Öffnung wird dabei als die Spitze eines von der Sonne ausgehenden Strahlenkegels betrachtet, der auf der anderen Seite der Öffnung seine Fortsetzung findet.

2) J. B. Portae Neapolitani Magia naturalis. 1553 (nicht mehr vorhanden). 1560. 1589.



läfst sich nicht verkennen, dafs man auf solche Weise mit der Wirkung gespannter Dämpfe vertraut wurde, und so der Gedanke, diese Wirkung auf die einfachen Maschinen der Mechanik zu übertragen, allmählig heranreifte. Erst von diesem Fortschritt an, den wir später zu betrachten haben, kann von einer eigentlichen Dampfmaschine die Rede sein.

Auch den magnetischen Erscheinungen wandte man jetzt eine gröfsere Aufmerksamkeit zu. Aber gerade dieses Gebiet wurde von Porta und Männern verwandten Geistes aufserordentlich mit Mystik und Aberglauben verwoben. Mit der Deklination, deren Gröfse Porta für Italien zu 9° östlich angiebt, war man schon vor Columbus bekannt geworden. Letzterer machte die Beobachtung, dafs die Deklination sich bei einer Reise nach Westen verringerte und schliefslich in eine westliche (sie war damals im ganzen Gebiete des Mittelmeeres östlich) überging. Auf Grund dieser Erkenntnis suchte sich Columbus auf seiner zweiten Reise, wenn die Schiffsrechnung unsicher war, durch einen Vergleich der Deklinationen zu orientieren. Es war dies der erste, später oft wiederholte Versuch, die Deklination zur Auffindung der Länge zu verwerten. Eine brauchbare Lösung des Längenproblems, das schon Hipparch und Ptolemäos grofse Schwierigkeiten bereitet hatte, sollte jedoch nicht auf diesem Wege, sondern erst durch die Erfindung genauer Chronometer ermöglicht werden.

Das zweite Element des tellurischen Magnetismus, die bekannte Erscheinung nämlich, dafs die um eine horizontale Achse drehbare Nadel eine geneigte Lage annimmt, hat zuerst der Engländer Norman genauer beobachtet. Derselbe gab im Jahre 1576 die Gröfse der Inklination für London zu 71° 50′ an[1]. Auf die wechselnde Intensität des Erdmagnetismus wurde man dann gegen das Ende des 18. Jahrhunderts aufmerksam, sodafs erst seit dieser Zeit eine allseitige auch das Quantitative in der Erscheinung berücksichtigende Kenntnis dieses Phänomens Platz greifen konnte.

Das bedeutendste Ereignis der folgenden Periode ist die Begründung der Dynamik durch Galilei. Aber auch dies geschieht nicht unvermittelt. Fanden sich schon bei Leonardo da Vinci klare, wenn auch noch nicht hinreichend durchgearbeitete Begriffe auf diesem Gebiete der Physik, z. B. bezüglich des Falles über

---

[1] Gilbert, de magnete I, 1. Von dem Deutschen Georg Hartmann (1489—1564) rührt eine noch ältere aber ganz ungenaue Beobachtung der Inklination her (9 Grad anstatt etwa 70 Grad).

die schiefe Ebene vor, so mehren sich die Ansätze, je weiter wir uns dem Auftreten Galileis nähern. Vor allem greift eine bessere, schon auf physikalischen Prinzipien beruhende Auffassung der Wurfbewegung Platz. Man erkennt, dafs die Bahn des geworfenen Körpers eine einzige krumme Linie und nicht aus geraden und krummen Stücken zusammengesetzt ist, wie die Peripatetiker behaupteten, sowie dafs die gröfste Wurfweite bei einem Elevationswinkel von 45° erzielt wird[1]. Auch die Meinung der Aristoteliker, dafs ein Körper umso schneller falle, je schwerer er sei, eine Ansicht, deren glänzende Widerlegung wir im I. Bande[2] kennen gelernt haben, wird schon vor Galilei durch den italienischen Mathematiker Benedetti erschüttert. Dieser lehrte, dafs Körper von verschiedenem Gewicht beim freien Fall in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurücklegen, sowie dafs ein im Kreise geschwungener Gegenstand beim Aufhören der Centralbewegung sich in tangentialer Richtung fortbewegt.

Trotz dieser Vorarbeiten, so sehr sie als die Anzeichen des beginnenden Umschwungs geschätzt werden müssen, ist doch Galilei als der eigentliche Begründer der Dynamik zu betrachten, weil durch ihn wie mit einem Schlage fast alles beseitigt wurde, was jener Wissenschaft an Verschwommenheit und aristotelischer Betrachtungsweise noch anhaftete.

Die gleiche befreiende That sollte für die Chemie noch lange auf sich warten lassen. Zwar wurde sie durch anerkennenswerte Leistungen weit mehr vorbereitet, als die fast unvermittelt uns entgegentretenden Errungenschaften Galileis, sie vollzog sich aber trotzdem erst gegen den Ausgang des 18. Jahrhunderts. Während nämlich die Grundlagen der Mathematik, der Astronomie und der Statik der neueren Epoche aus dem Altertum schon in wissenschaftlicher Gestalt überliefert wurden, war die Chemie im wesentlichen ein Produkt des Mittelalters und dem Hange dieser Zeit entsprechend stark durch mystische Elemente getrübt. Wie Roger Bacon und Albertus Magnus, wandelten die Vertreter der Chemie zu Beginn der neueren Epoche ganz in den von Geber vorgezeichneten Bahnen. An den Stein der Weisen, dessen Herstellung nach wie vor das Hauptziel aller experimentellen Bemühungen blieb, knüpfte man die abenteuerlichsten Hoffnungen. Derselbe sollte nicht nur, wie bei den älteren Alchemisten, Gold erzeugen, und

---

[1] Tartaglia, Nuova scienza (Venedig 1537).
[2] Siehe Bd. I, Abschnitt 7.



zwar unbegrenzte Mengen oder wenigstens 1000 × 1000 Teile, sondern er sollte auch das Leben verlängern, dem Alter die Jugend zurückgeben und alle Krankheiten heilen.

Von der Überzeugung, dafs die Darstellung einer solchen Substanz gelungen und Gold vermittelst derselben bereitet sei, war man fest durchdrungen. Die Alchemie erlangte sogar eine gewisse politische Bedeutung. An allen Höfen besafsen Männer, welche sich angeblich im Besitze des Geheimnisses befanden, mehr oder minder grofsen Einflufs. Nachdem z. B. die englische Regierung[1]) die Gelehrten und die Geistlichen im Jahre 1423 aufgefordert hatte, die Hülfe Gottes zu erflehen, damit die Herstellung des Steins der Weisen endlich gelinge und man die Staatsschulden bezahlen könne, gedieh die Sache bald darauf schon weiter. Dasselbe Land nahm nämlich keinen Anstand, aus alchemistischem Golde geprägte Münzen in Umlauf zu bringen. Doch war man zumal in den geschädigten Nachbarländern aufgeklärt genug, bald zu erkennen, dafs es sich hier um eine arge Täuschung handelte[2]).

Einer der eifrigsten Beschützer der Alchemisten und der Astrologen war der deutsche Kaiser Rudolph II., welcher auf den Lebensgang des grofsen Keppler einen solch tiefgreifenden Einflufs ausgeübt hat. Als Rudolph II. im Jahre 1612 starb, fand man in seinem Nachlafs viele Zentner Gold und Silber, die als Erzeugnisse der alchemistischen Kunst betrachtet wurden. Wenige Jahre später berichtet van Helmont, ein Mann, von dessen Ehrlichkeit in wissenschaftlichen Dingen wir überzeugt sein dürfen, dafs es ihm gelungen sei, 8 Unzen Quecksilber mit 1/4 Gran der gesuchten Substanz, welche auf eine etwas mysteriöse Weise in seine Hände gelangt war, in Gold zu verwandeln.

Dafs die alchemistischen Bestrebungen stets von neuem Nahrung fanden und sich bis in das 18. Jahrhundert[3]) hinein fortsetzen konnten, sodafs wir auf dieselben noch wieder zurückkommen müssen, darf unter solchen Umständen nicht wundernehmen. Die Chemie erhielt jedoch in dieser Periode, wenn sich ihr Gesamtcharakter zunächst auch wenig änderte, eine Anregung, die für ihre weitere Entwicklung von Bedeutung werden sollte. Neben der Erzeugung des Steines der Weisen wurde es nämlich als ihre zweite

[1]) Unter Heinrich VI.

[2]) Übrigens betrieb Karl VII. von Frankreich, dem die Engländer den Thron zu Gunsten ihres Königs Heinrichs VI. streitig machten, dieselbe Art von Falschmünzerei.

[3]) Vereinzelt selbst bis in das 19. Jahrhundert.



wichtige, die erstere immer mehr in den Hintergrund drängende Aufgabe hingestellt, vermittelst der chemischen Präparate Krankheiten zu heilen. Es beginnt damit das Zeitalter der medizinischen oder Iatrochemie.

Vorbereitet wurde diese Richtung schon durch den um 1450 lebenden Deutschen Basilius Valentinus, welcher das alchemistische Problem gegen die neuen Ziele zurücktreten liefs, ohne jedoch die Berechtigung des ersteren in Zweifel zu ziehen. Derselbe Valentinus lehrte zahlreiche neue Verbindungen, insbesondere die Antimonpräparate kennen. Ihren Höhepunkt erreichte die iatrochemische Richtung aber erst mit Paracelsus. Dieser merkwürdige Mann, dessen Lebenslauf hier nicht eingehender betrachtet werden kann, wenn derselbe auch ein Stück Kulturgeschichte zu entrollen geeignet ist, war gleichfalls deutscher Herkunft. Paracelsus wurde im Jahre 1493 geboren, bekleidete eine Zeitlang eine Professur in Basel, führte jedoch im übrigen ein unstätes, viel Ärgernis erregendes Leben, bis er 1541 gänzlich mittellos verstarb. Sein ganzes Auftreten kennzeichnete ihn als einen Auswuchs des reformatorischen Geistes jener Zeit, der sich keineswegs nur auf das kirchliche Gebiet beschränkte. Insbesondere wandte sich Paracelsus gegen die anerkannten wissenschaftlichen Autoritäten, als welche bislang Geber auf dem Gebiete der Chemie und Galen auf demjenigen der Medizin gegolten hatten. Paracelsus spricht es unumwunden aus, dafs der wahre Zweck der Chemie nicht darin bestehe, Gold zu machen, sondern dafs es ihre Aufgabe sei, Arzneien zu bereiten, welche man bis dahin nach Galen fast ausschliefslich dem Pflanzenreiche entnommen hatte. In seiner theatralischen Weise übergiebt Paracelsus die älteren Werke, deren Inhalt er bekämpft, den Flammen. Und zwar geschah dies, bald nachdem Luther die Brücke dadurch hinter sich vernichtet hatte, dafs er die päpstliche Bannbulle öffentlich verbrannte.

Auf die wunderlichen medizinischen Vorstellungen des Paracelsus näher einzugehen, nach welchen z. B. eine schaffende Kraft alle Lebensthätigkeiten regelt, ihrerseits aber wieder in einem engen Zusammenhange mit den Gestirnen steht, verbietet sich von selbst. Der Zusammenhang der Medizin mit der Chemie ergiebt sich nach Paracelsus daraus, dafs die Krankheiten auf Änderungen in der chemischen Zusammensetzung des Körpers zurückgeführt werden. Chemisch wirkende Mittel müssen also den normalen Zustand wieder herbeiführen können. Alle Krankheiten sind von diesem Gesichtspunkte aus entweder durch Zufuhr oder durch Beseitigung

des im gegebenen Falle in Betracht kommenden Elementes heilbar. Fieber werden auf ein Überwiegen des Schwefels, Gicht auf die Ausscheidung von Quecksilber, welche Elemente nach der Lehre der Alchemisten neben Salz die Grundbestandteile aller Dinge sind, zurückgeführt. Kupfervitriol, Quecksilberchlorid, die schon von Basilius Valentinus empfohlenen Verbindungen des Antimons und zahlreiche andere, teils giftige, teils ungiftige Präparate wandern damit in das Arsenal der ärztlichen Heilmittel. Seit dieser Zeit entwickelt sich ferner ein Stand wissenschaftlich gebildeter Pharmaceuten, aus dem manches für den weiteren Ausbau der Chemie bedeutende Talent hervorgegangen ist. Waren doch seit dem Verschwinden der schwarzen Küche der Adepten bis gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts die Apotheken vorzugsweise diejenigen Stätten, von denen die praktische Beschäftigung mit der Chemie und die Fortbildung dieser Wissenschaft ihren Ausgang nahmen.

Mit der Entwicklung derselben ist das Emporblühen der Mineralogie, der Chemie der natürlich vorkommenden Verbindungen, stets eng verknüpft gewesen. Um 1500 begegnet uns das erste, sogar deutsch geschriebene mineralogische Lehrbuch, das nicht ein bloſser Abklatsch der aus dem Altertum überkommenen Werke ist, sondern einen bedeutenden Grad von Selbständigkeit und Beobachtungsgabe verrät. Dasselbe führt den Namen „Bergbüchlein“ und wird dem uns soeben bekannt gewordenen Basilius Valentinus zugeschrieben[1]). Auch Paracelsus schrieb über die Mineralien. Als der eigentliche Vater der neueren Mineralogie ist jedoch der Deutsche Georg Bauer zu betrachten. Derselbe lebte von 1490—1555 und nannte sich, nach damaliger Gelehrtenmode seinen Namen latinisierend, Georg Agricola.

Agricola verbrachte den gröſsten Teil seines Lebens als praktischer Arzt in Joachimsthal. Der Bergbau und das Hüttenwesen jenes Ortes bewogen ihn, die Zeit, welche der Beruf übrig lieſs, auf die Beobachtung jener Zweige der Gewerkthätigkeit zu verwenden und alles, was er vorfand, mit den bergmännischen Kenntnissen der Alten zu vergleichen. Die Ergebnisse seines unermüdlichen Forschens legte Agricola in mehreren Schriften nieder, welche, wie auch Werner, der Lehrer Alexanders von Humboldt und Leopolds von Buch dankbar anerkannte, das Fundament der Mineralogie bis zur neuesten, insbesondere durch

---

[1]) 1700 von Tölden herausgegeben.



die drei genannten Forscher begründeten Epoche dieser Wissenschaft bildeten. Das bedeutendste unter den Werken Agricolas ist das im Jahre 1556 erschienene Bergwerksbuch[1]). Dasselbe bietet ein vollständiges Bild des damaligen Berg- und Hüttenwesens, sowie der Probierkunde und enthält zahlreiche treffliche Holzschnitte, welche nicht nur die hüttenmännischen Prozesse, sondern auch geologische Details, wie Erzgänge, Durchsetzungen, Verwerfungen etc. darstellen. Auch begegnen wir schon bei Agricola der Auffassung, dafs die Versteinerungen, die bis dahin als Naturspiele oder als unvollkommene Äufserungen einer im Erdinnern wirkenden bildenden Kraft betrachtet wurden, Überreste von Organismen seien. Insbesondere macht Agricola diesen Ursprung für fossiles Holz und die bekannten Fischabdrücke des Mannsfelder Kupferschiefers geltend. Indes erst viel später, als nämlich die Geologie ihr Hauptziel in der Deutung des mosaischen Schöpfungsberichtes erblickte und die Versteinerungen für die wichtigsten Zeugen der Sündflut ausgab, fand diese Lehre allgemeinen Anklang. Auch in Frankreich und Italien, wo es geringere Schwierigkeiten bot, die Ähnlichkeit fossiler Konchylien mit noch jetzt daselbst im Meere lebenden Arten zu erkennen, neigten aufgeklärte Männer[2]) wenig später als Agricola der richtigen Annahme zu, dafs die Fossilien die Überreste von Arten seien, welche an der Stelle, wo sie sich befinden, früher gelebt haben und so erkennen lassen, dafs das Meer einst dort wogte, wo jetzt festes Land ist. Ferner begegnen uns die ersten mit Abbildungen versehenen Werke über Versteinerungen, unter denen dasjenige Gefsners, des deutschen Plinius, hervorzuheben ist[3]).

Es wurde somit in dieser Periode auch für die Mineralogie und für die Geologie ein Grund geschaffen, auf dem sich mit Erfolg weiter bauen liefs. Das Gleiche gilt auch von den übrigen Gebieten der Naturbeschreibung, der Botanik, der Zoologie, sowie der Lehre vom Bau und von den Verrichtungen des menschlichen Körpers. Dieselben wurden nicht nur durch das Bekanntwerden der bezüglichen Schriften der Alten zu neuem Leben geweckt, sondern es trat für sie noch ein zweiter günstiger Umstand hinzu. Infolge

---

[1]) Agricolas Bergwerksbuch. Übersetzt von Bechius 1621. Vergleiche auch Agricolas mineralogische Schriften, übersetzt und mit Anmerkungen von E. Lehmann, Freiberg 1816. Der Titel des Originalwerks lautet: De re metallica libri XII. 1556.

[2]) Wie Palissy und Caesalpin.

[3]) Konrad Gefsner, De omni rerum fossilium genere. 1565.



der Entdeckungsreisen wurde nämlich die europäische Menschheit mit einer solchen Fülle von Naturerzeugnissen bekannt, wie es nie zuvor in gleichem Maſse geschehen war. Daſs man jetzt zur selben Zeit die Augen öffnen und die Fesseln des Autoritätsglaubens und der Büchergelehrsamkeit abstreifen lernte, ist für die neuere Entwicklung der beschreibenden Naturwissenschaften gleichfalls von groſsem Einfluſs gewesen. Waren diese Disziplinen früher nur nebenbei und zu Heilzwecken betrieben worden, so bot sich jetzt eine solche Fülle von Material, daſs die Thätigkeit derjenigen, die sich ihnen widmeten, vollauf in Anspruch genommen wurde. Damit muſste die Beziehung dieser Fächer zur Medizin ihrer eigenen Bedeutung gegenüber allmählich in den Hintergrund treten.

Mit demselben Rechte, mit welchem man Agricola den Vater der neueren Mineralogie genannt hat, lassen sich die Deutschen Bock und Brunfels als die Väter der neueren Botanik bezeichnen. Die Werke dieser Männer sind unter dem Namen der Kräuterbücher bekannt; sie wurden in erster Linie dadurch hervorgerufen, daſs die kommentatorischen Bemühungen, welche man auf die botanischen Werke der Alten zur Zeit des Wiederauflebens der Wissenschaften verwendet hatte, gescheitert waren. Dieses Scheitern ist auf mehrere Gründe zurückzuführen. Einmal ging man bei dem Glauben an die Unfehlbarkeit der Alten an ihre botanischen Schriften mit der Voraussetzung heran, daſs die darin abgehandelten Pflanzen das gesamte Pflanzenreich darstellten; des weiteren suchte man dieselben, ohne von der geographischen Verbreitung eine klare Vorstellung zu besitzen, in Mitteleuropa, wo sie bei der bedeutenden Verschiedenheit der Floren Griechenlands und Deutschlands nur zum Teil gefunden werden konnten. Als man die Unhaltbarkeit jener Voraussetzung einsah, verlegte man sich auf eigenes Beobachten und Beschreiben derjenigen Gewächse, die man im Heimatslande vorfand. In dem Kräuterbuche Bocks z. B. ist keine einzige Pflanze berücksichtigt, welche der Verfasser nicht auf Grund eigener Beobachtung kannte. Es erschien im Jahre 1539 und erläutert die beschriebenen Arten durch Holzschnitte. Etwa zur selben Zeit begegnet uns zum erstenmale das Verfahren, Pflanzen zu pressen und in Herbarien aufzubewahren. Auch wurden botanische Gärten in Verbindung mit den Universitäten angelegt [1]).

[1]) Die ersten botanischen Gärten entstanden um die Mitte des 16. Jahrhunderts zu Padua und Pisa. Es folgten Leyden 1577, Leipzig 1580 und Berlin im Jahre 1714.



Die Anordnung der Pflanzen in den Kräuterbüchern war anfangs meist die alphabetische. Allmählich mufste aber auf Grund der zahllosen Einzelbeobachtungen das Gefühl für die Zusammengehörigkeit des Ähnlichen und damit die Voraussetzung zur Begründung eines natürlichen Systems sich entwickeln. So wurden bald die Nadelhölzer, die Lippenblüter, die Korbblüter und andere einen charakteristischen Bau aufweisende Pflanzen als natürliche Gruppen herausgefühlt, ein grofser Fortschritt gegen die naive Einteilung in Bäume, Sträucher und Kräuter, der wir im Altertum begegneten. Das medizinische Element nahm jedoch in den Kräuterbüchern immer noch einen breiten Raum ein, wie es auch bei der Anlage botanischer Gärten zunächst mafsgebend war. Naiv genug mutet auch noch manches in den Kräuterbüchern, diesen Erstlingserzeugnissen der neueren botanischen Wissenschaft, an. So beginnt Bock, dem man nachrühmte, dafs er die Natur oft wirklich male, mit folgenden Worten: „Nach Erkundigung aller Geschrift erfindet sich's klar, dafs der allmächtige Gott und Schöpfer der allererste Gärtner, Pflanzer und Baumann aller Gewächse ist.“ Sodann wird Adam als der zweite Botaniker gepriesen, weil er alle Pflanzen mit ihrem rechten Namen belegt habe. Auf ihn folgen die Botaniker Kain, Noah u. s. w.

Während das induktive Verfahren, welches uns in den Kräuterbüchern begegnet, schon im Zeitalter Galileis zu einer wenn auch noch sehr mangelhaften natürlichen Systematik führte[1]), ging man in Italien in aristotelischer Weise von vorher geschaffenen Einteilungsprinzipien aus. Hier suchte Caesalpin den immer mehr anschwellenden Artenreichtum zu bewältigen, indem er seiner Anordnung insbesondere die Beschaffenheit der Früchte zu Grunde legte. Diese Richtung der einseitig künstlichen Systematik wurde in der Folge zunächst zur herrschenden, da sie dem Bedürfnis der Praxis besser entsprach, als die noch unvollkommene natürliche Gruppierung, welche für die Wissenschaft jedoch einen höheren Wert besitzt. Wir werden später Linné als denjenigen kennen lernen, dem das von Caesalpin erstrebte Werk gelang. Linné erwies diesem seinem Vorgänger auch alle Anerkennung, indem er ihn als den ersten wahren Systematiker bezeichnete.

Wie auf botanischem, so regte sich auch auf zoologischem Gebiete das Bestreben, über das von den Alten überlieferte Mafs

---

[1]) Durch Kaspar Bauhin. Index plantarum nomina secundum genera et species proponens. Basel 1623.



von Kenntnissen hinauszuschreiten und die bekannten Tierformen, deren Zahl sich durch Entdeckungsreisen immerfort vergröfserte, auf Grund eigener Beobachtung zu beschreiben und mit möglichster Naturtreue darzustellen. So entstanden mehrere encyklopädische Werke, wie dasjenige des Schweizers Konrad Gefsner (1516 bis 1565) und des Italieners Aldrovandi (1522—1605). Gefsner, dem sein Vaterland das erste Naturalienkabinet verdankt, beschrieb in seiner „Naturgeschichte [1])“ den äufseren Bau der Tiere unter Berücksichtigung ihres Vorkommens, ihrer Lebensweise, des Nutzens, den sie gewähren u. s. w. Seine Anordnung war die alphabetische, was in Bezug auf Systematik gegen Aristoteles, welcher die grofsen natürlichen Gruppen, wie wir sahen, schon erkannt hatte, einen offenbaren Rückschritt bedeutet. Doch macht sich bei Gefsner das Bestreben geltend, die Zoologie von den gerade auf diesem Gebiete so sehr überwuchernden Fabeln zu reinigen. Letztere werden zwar gewissenhaft angeführt, doch geschieht dies nicht, ohne dafs Bedenken gegen sie erhoben werden. Gefsner veröffentlichte auch ein Werk über Fossilien, welches wohl die ersten Abbildungen von Versteinerungen enthält [2]). Bedenkt man, dafs derselbe Mann auch über Botanik schrieb, praktischer Arzt war und eine Zeitlang eine Professur der griechischen Sprache bekleidete, so erhalten wir einen Begriff von der vielseitigen Gelehrsamkeit, die uns in der auf das Emporblühen des Humanismus folgenden Zeit so häufig begegnet.

Ein weiterer wichtiger Fortschritt auf zoologischem Gebiete bestand darin, dafs man sich nicht mehr auf das Beschreiben der äufseren Form beschränkte, sondern in den Bau der Tiere einzudringen suchte. So finden wir bei Aldrovandi schon Abbildungen des Skeletts, der Muskulatur, sowie der innersten Organe. Dieses Streben nach einem tieferen Eindringen in den Gegenstand kam vor allem auch der Anatomie zu gute, deren Ziel man in eine möglichst genaue Beschreibung aller Formverhältnisse setzte. Selbständigkeit der Beobachtung und Befreiung von der Autorität des Altertums, insbesondere von Galen, charakterisieren die Bestrebungen auf diesem Gebiete. Vor allem ist hier Vesal als der eigentliche Begründer der wissenschaftlichen Anatomie des Menschen zu nennen.

Andreas Vesal (1514—1564) war der Spröfsling einer aus

---

1) Gefsner, Historia animalium libri V.

2) Siehe Seite 104 ds. Bds.

Wesel stammenden deutschen Ärztefamilie. Schon als Knabe wandte der spätere Professor der Anatomie und Chirurgie und Leibarzt Kaiser Karls des V. sein Interesse der anatomischen Untersuchung kleinerer Tiere zu. In den letzten Jahrhunderten des Mittelalters hatten zwar hin und wieder Zergliederungen menschlicher Leichen stattgefunden; man verfolgte dabei indes keinen anderen Zweck als den, die Lehren Galens, welcher eine unbedingte Autorität genofs, zu verifizieren. Wie schwierig es selbst später noch war, sich Material zum Studium der Anatomie zu verschaffen, geht unter anderem daraus hervor, dafs der junge Vesal, um in den Besitz eines menschlichen Skeletts zu gelangen, einen Gehenkten mit Gefahr seines Lebens vom Galgen entwenden mufste.

Das grofse Hauptwerk Vesals führt den Titel „Über den Bau des menschlichen Körpers"[1]). Dasselbe ragt durch scharfe Erfassung und klare Wiedergabe des Gegenstandes, durch Ursprünglichkeit des Inhalts und Schönheit der sprachlichen Darstellung weit über alle ähnlichen Erzeugnisse dieser Periode hervor und erregte die höchste Bewunderung der Zeitgenossen, sowie der späteren Jahrhunderte. Die meisterhaften Abbildungen des Werkes rühren von einem Schüler[2]) Tizians her. Um dem Leser einen Begriff von der naturgetreuen Ausführung derselben zu geben, ist in der nachfolgenden Figur 10 eine der zahlreichen, das Muskelsystem betreffenden Tafeln reproduziert.

Die Erkenntnis, dafs sich ein volles Verstehen der Form erst durch das Studium ihrer Entwicklung erschliefsen läfst, begegnet uns gleichfalls schon im 16. Jahrhundert, wenn sich auch diese Erkenntnis erst in späteren Perioden, gestützt auf die Verschärfung, welche der Gesichtssinn durch das Mikroskop erfuhr, allseitig Bahn brechen konnte. So wird die Entwicklung des Hühnchens im Ei, ein Problem, das schon den Aristoteles beschäftigt hatte, zum Gegenstand eingehender Untersuchungen gemacht. Dies geschah durch den verdienten italienischen Anatomen Fabricius[3]), welcher auch bemerkte, dafs die Klappen der Venen sich nach dem Herzen öffnen, eine Entdeckung, welche nebst anderen die Organe des Kreislaufs betreffenden Beobachtungen[4])

[1]) De humani corporis fabrica libri VII. Basel. 1543.

[2]) Johann Stephan von Calcar.

[3]) Fabricio ab Aquapendente (1537—1619), De formatione ovi.

[4]) z. B. dafs die Herzscheidewand, durch welche Galen das Blut aus dem rechten in den linken Ventrikel hindurchtreten liefs, undurchdringlich ist.




Fig. 10. Abbildung aus Vesals De humani corporis fabrica. 1543.
(Zweite das Muskelsystem betreffende Tafel.)

den gröfsten physiologischen Fortschritt des 17. Jahrhunderts, die Entdeckung des Blutkreislaufs durch Harvey nämlich, vorbereitete.

Wir haben hiermit die Betrachtung desjenigen Zeitabschnitts beendet, in welchem das Wiederaufleben der Wissenschaften erfolgte. Wir sahen, dafs man zwar auf allen Gebieten an die seit der Mitte des 15. Jahrhunderts aus reinerer Quelle fliefsenden Kenntnisse der Alten anknüpfte, ohne sich jedoch, wie früher, gänzlich der Autorität gefangen zu geben. Selbstbeobachten, eigenes Forschen wurde in den hervorragendsten Köpfen dieses Zeitalters zum Losungswort. Zwar wurde noch kein neues Gebäude der Wissenschaften errichtet, wohl aber wurde auf allen Gebieten mit den Vorarbeiten begonnen und die Thätigkeit des nachfolgenden Zeitalters erst ermöglicht, dessen Aufgabe darin bestand, die dauernden Fundamente der neueren Naturwissenschaft zu legen.

## 2. Während der von Galilei bis zum Auftreten Newtons reichenden Periode erstehen die Grundlagen der neueren Naturwissenschaft.

Wie mächtig der Drang nach einer Weiterentwicklung in der eingeschlagenen Richtung geworden, geht unter anderem daraus hervor, dafs die Naturwissenschaften trotz der grofsen politischen Zuckungen, denen der gröfste Teil Europas während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts ausgesetzt war und entgegen zahlreichen reaktionären Bestrebungen, welche meist in religiöser Intoleranz ihren Ausgangspunkt nahmen, dennoch ungehemmt fortschritten.

Italien und in zweiter Linie Deutschland waren in der vorigen Epoche der Boden, auf dem eine Wiedergeburt der Naturwissenschaften erfolgte. In diesen Ländern finden auch die neuen Bemühungen vorzugsweise ihre Fortsetzung; hier werden die Fundamente für den stolzen Bau gelegt, den die nachfolgenden Jahrhunderte errichten sollten. Dafs das aus tausend Wunden blutende Deutschland des 17. Jahrhunderts auf diesem Felde mitzuwirken vermochte, indem es einen Keppler und einen Guericke hervorbrachte, deren Forschungseifer nicht erlahmte, wie tief auch die Ereignisse des dreifsigjährigen Krieges in ihr Leben eingriffen, verdient in ganz besonderem Mafse die Bewunderung der Nachwelt.

England, das von gewaltsamen Eingriffen in den Gang seiner Entwicklung stets weniger gelitten als die Festlandsstaaten, hatte unter der langen, segensreichen Regierung Elisabeths einen mächtigen Aufschwung in politischer, wirtschaftlicher und geistiger Beziehung genommen und beteiligte sich seit dem Beginn des 17. Jahrhunderts gleichfalls an dem Aufbau der Naturwissenschaften. Ja, nach der Unterbrechung, welche die ruhige Entwicklung dieses Landes in der Mitte des 17. Jahrhunderts durch den Bürgerkrieg erfuhr, erhob sich England im Zeitalter Newtons zu dem Range der ersten naturforschenden Nation. Frankreich hat sich nicht in gleichem Mafse wie die genannten Länder an der Schöpfung der Grundlagen der neueren Naturwissenschaft beteiligt; um so mehr hat es sich aber um die Fortbildung derselben gegen das Ende des 18. und im Beginn des 19. Jahrhunderts verdient gemacht. In dieser späteren Epoche nahm Frankreich die gleiche führende Stellung ein, welche England hundert Jahre früher zu Newtons Zeit besessen hatte.

Die neue, in den Arbeiten eines Galilei, Gilbert und Keppler ihren Höhepunkt erreichende Periode ist dadurch besonders charakterisiert, dafs sie die wichtigsten Hülfsmittel zur Verschärfung der Sinne hervorbringt und vermittelst derselben einen weit tieferen Einblick wie bisher in die Vorgänge der Natur zu thun vermag. Was die früheren Zeitalter an solchen Hülfsmitteln besafsen, erhob sich wenig über den Rang einfacher, durch handwerksmäfsiges Schaffen hergestellter Werkzeuge. Jetzt treten uns auf wissenschaftlichen Prinzipien beruhende, der planmäfsigen Forschung dienende Instrumente in gröfserer Zahl entgegen. Gleich an der Schwelle dieser Periode sind es die beiden wichtigsten, das zusammengesetzte Mikroskop und das Fernrohr, welche um 1590, beziehungsweise um 1609 erfunden wurden.

Die Glaslinse und ihre vergröfsernde Kraft war zwar seit alters bekannt; auch waren die Erscheinungen, welche die verschiedenen Arten der Spiegel darboten, da sie sich einer Erklärung durch geometrische Konstruktion zugänglich erwiesen, stets ein Lieblingsgegenstand der Mathematiker gewesen. Die Zusammenfügung mehrerer Linsen, in welcher das Charakteristische des zusammengesetzten Mikroskops und des Fernrohrs besteht, scheint dagegen ohne einen leitenden, theoretischen Gedanken als ein blofses Spiel des Zufalls stattgefunden zu haben. Trotz der verwickelten Geschichte dieser Instrumente und obgleich mehrere Kulturvölker Europas Prioritätsansprüche erhoben haben, ist doch

soviel festgestellt, dafs der Ruhm beider Erfindungen den Niederländern gebührt, bei denen die Glas- und Steinschleiferei schon zu jener Zeit in Blüte stand und die Herstellung von Linsen zwecks Verfertigung von Brillen gewerbsmäfsig betrieben wurde.

Es würde zu weit führen, wenn wir uns hier mit der Abwägung von Prioritätsansprüchen befassen wollten[1]). Nicht nur Roger Bacon und Porta wurden auf Grund dunkler Stellen ihrer Werke für die Erfinder des Fernrohrs gehalten, sondern im Hinblick auf Matthäus 4, 8 wurde von ernsthafter Seite das neue Werkzeug sogar für eine Erfindung des Teufels ausgegeben[2]). Letzteres sei nicht etwa der blofsen Kuriosität wegen angeführt, sondern um die mifsbräuchliche Anwendung zu zeigen, welche, wie wir noch des öfteren sehen werden, von der heiligen Schrift gemacht wurde. In den meisten Fällen geschah dies, um in dunkelmännischer Weise, wie einst dem Emporblühen des Humanismus, der zu immer gröfserer Bedeutung heranwachsenden Naturwissenschaft Hemmnisse zu bereiten. Letztere haben zwar einzelnen Vertretern dieser Wissenschaft Verfolgungen und Leiden eingetragen, für den gesamten Gang der Entwicklung, welcher vom Dunkel zum Lichte führte, sollten sie indes belanglos bleiben.

Das erste zusammengesetzte Mikroskop bestand aus der Vereinigung einer Bikonvex- oder Sammel- mit einer Bikonkav- oder Zerstreuungslinse; erstere diente als Objektiv, letztere als Okular.

Dieses Instrument wurde[3]) von dem holländischen Glasschleifer Zacharias Jansen um das Jahr 1590 erfunden. Eins der ältesten Exemplare war 1½ Fuss lang; das vergoldete Rohr wurde von drei Delphinen getragen; auf das Fufsgestell gelegte Gegenstände erschienen beim Hineinblicken sehr vergröfsert.

Die heutigen zusammengesetzten Mikroskope sind bekanntlich anders eingerichtet. Sie bestehen aus zwei Sammellinsen oder aus zwei Linsensystemen, von denen jedes wie eine einzige Sammellinse wirkt. Die dem Gegenstande genäherte Linse A, das Objektiv,

---

[1]) Siehe darüber: Servus, Die Geschichte des Fernrohrs bis auf die neueste Zeit. Berlin 1886, und Petri, Das Mikrokoskop von seinen Anfängen bis zu seiner jetzigen Vervollkommnung. Berlin 1896.

[2]) So von dem gelehrten Montanus. Die betreffende Bibelstelle lautet: Wiederum führte ihn der Teufel auf einen sehr hohen Berg und zeigte ihm alle Reiche der Welt und ihre Herrlichkeit.

[3]) Nach dem Zeugnis des belgischen Gesandten Borelius. Das betreffende lateinisch verfafste Schriftstück findet sich in Wildes Geschichte der Optik, I, 147 wiedergegeben.

erzeugt ein physisches Bild, welches durch die zweite, Okular genannte Linse B, wie durch eine Lupe betrachtet wird (siehe Fig. 11). Diese Konstruktion kam später auf; wir begegnen ihr erst im 2. Jahrzehnt des 17. Jahrhunderts, nachdem Galilei das Fernrohr verbessert und auf den Himmel gerichtet hatte.

Auch das letztere Instrument bestand in seiner ersten Einrichtung, welche von dem holländischen Brillenmacher Johannes Lippershey († 1619) herrührt, in der Verbindung einer Konvexlinse als Objektiv mit einer Konkavlinse als Okular. Diese Vereinigung wird bekanntlich noch jetzt als holländisches Fernrohr bezeichnet und in binokularer Ausführung den heutigen Operngläsern und Krimstechern zu Grunde gelegt. Auch hier leitete der Zufall auf die Erfindung. Es wird erzählt, Lippershey habe seine Linsenkombination auf die Wetterfahne eines nahen Kirchturmes gerichtet und sei von der vergröfsernden Wirkung überrascht gewesen.

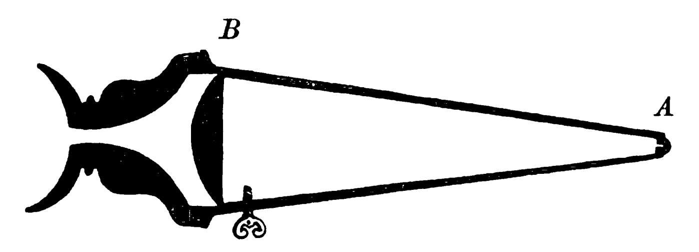



Fig. 11. Das aus zwei Sammellinsen bestehende Mikroskop. (Hookes Micrographia, London 1667, Schem. I, Fig. 4).

Bei dem regen Gedankenaustausch, der damals schon die Völker Europas verband, im Gegensatz zu der wechselseitigen Abschliefsung, welche das Mittelalter kennzeichnet, verbreitete sich die Kunde von der wunderbaren Erfindung mit grofser Schnelligkeit. So berichtet auch der französische Gesandte bei den Generalstaaten seinem König Heinrich IV. darüber. Letzterer erwidert: „Ich würde die Fernröhre, von denen Sie mir schreiben, mit Vergnügen annehmen, wiewohl mir jetzt Instrumente, um die Dinge in der Nähe zu sehen, viel nötiger wären." Wie sehr der König Recht hatte, sollten die Ereignisse lehren, denn schon nach Jahresfrist machte der Mordstahl eines Ravaillac seinem thätigen Leben ein Ende.

Auch nach Italien, wo sich Galilei auf der Höhe seines Schaffens befand, gelangte alsbald die Nachricht von der neuen

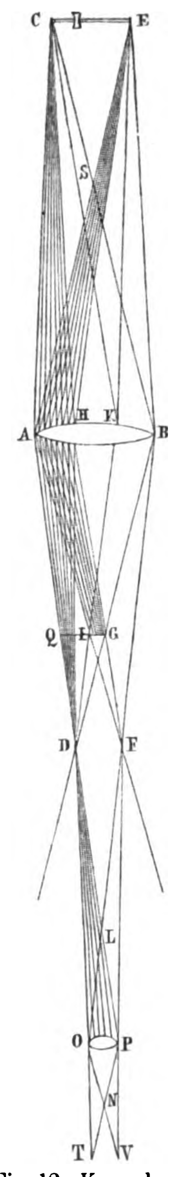



Fig. 12. Kepplers Konstruktion des astronomischen Fernrohrs (aus Kepplers Dioptrik).

Erfindung. Mit welchem Eifer Galilei sich der Sache annahm, hat er selbst in einer kleinen Schrift erzählt, welche über die ersten ihm gelungenen astronomischen Entdeckungen berichtet. Dort heifst es[1]): „Vor zehn Monaten etwa kam das Gerücht zu unseren Ohren, ein Niederländer habe ein Instrument erfunden, vermittelst dessen man entfernte Dinge so deutlich wie nahegelegene sehe. Das veranlafste mich, darauf zu sinnen, wie ich zur Verfertigung eines solchen Instrumentes gelangen könnte. Ich verfiel darauf, an den Enden eines Bleirohrs zwei Gläser anzubringen, ein plankonvexes und ein plankonkaves. So sah ich die Gegenstände dreimal so nahe und neunmal vergröfsert. Da ich weder Arbeit noch Kosten scheute, bin ich soweit gekommen, dafs mir die Sachen fast 1000 mal so grofs und 30 mal näher erscheinen, als wenn man sie mit blofsem Auge betrachtet.“

Das Fernrohr, welches Galilei anfertigte, war also gleichfalls ein holländisches, während das eigentliche astronomische Fernrohr wie das spätere zusammengesetzte Mikroskop zwei Sammellinsen besitzt. Die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs wurde von Keppler in dessen Dioptrik[2]) (siehe Fig. 12) angegeben, dem hervorragendsten Werk, das zu Beginn der neueren Zeit über die Brechung des Lichtes geschrieben wurde. Danach[3]) werden zwei Konvexlinsen so verbunden, dafs die entferntere AB allein, dem aufserhalb OP befindlichen Auge ein umgekehrtes aber undeutliches Bild liefern würde. Durch die Einschaltung der dem Auge näher befindlichen Linse OP werden

---

1) Galilei, Sidereus nuntius, 1610. Le opere di Galileo Galilei, Edizione nazionale. Volume III. Parte prima. pg. 60. Firenze 1892

2) Johannis Kepleri Dioptrice 1611. Kepleri Opera omnia (ed. Frisch) II 515 ff.

3) Dioptrice, Problema LXXXVI. Duobus convexis majora et distincta praestare visibilia, sed everso situ.

die von D und F aus divergierenden Strahlen konvergent gemacht und so ein deutliches, wenn auch noch umgekehrtes Bild wahrgenommen. Dafs sich durch Einfügung einer dritten Konvexlinse das umgekehrte Bild, welches ein solches Fernrohr liefert, in ein aufrechtes verwandeln läfst, hat Keppler gleichfalls dargethan[1]). Merkwürdigerweise wurde sein astronomisches Fernrohr nicht von ihm selbst, sondern einige Jahre später nach den Angaben der Dioptrik von dem Jesuiten Scheiner, dem wir in der Lebensgeschichte Galileis noch begegnen werden, zum erstenmale angefertigt.

Auf dem Boden Italiens hatte das Wiederaufleben der Antike stattgefunden, auf demselben Boden entstehen durch Galilei und seine Schüler auch die Fundamente der neueren Naturwissenschaft. Zu der Zeit als sich das Dunkel des Mittelalters zu lichten begann, war Italien in zahlreiche Republiken und Fürstentümer zerfallen, welche in kriegerischem sowie in friedlichem Wettbewerb um die Herrschaft rangen. Ihre Nahrung zogen diese kleinen Staatsgebilde vorwiegend aus dem Handel und dem Gewerbe. Seitdem sich die italienischen Seefahrer der Boussole und der geographischen Karten bedienten, hatte sich ein stetig wachsender Verkehr mit der Levante entwickelt. Eine Folge davon war das Emporblühen des Kunstgewerbes. Venedigs Glasgegenstände, sowie die Majoliken und Metallgüsse anderer italienischer Städte galten als unübertroffen. Auf demselben Boden erwuchs auch die Kunst eines Leonardo da Vinci, Raphael und Michel Angelo, nachdem im Beginn dieser Periode Dante und Petrarka ihre unvergänglichen Dichtungen geschaffen. In dem Mafse, wie die Blütezeit der Kunst sich ihrem Ende zuneigte, begann der wissenschaftliche Geist seine Schwingen zu regen. An demselben Tage, an welchem Michel Angelo die Augen für immer schlofs, erblickte Galilei das Licht der Welt. Die Natur, sagt Libri[2]), schien andeuten zu wollen, dafs die Kunst das Scepter an die Wissenschaften abgetreten habe.

Galileo Galilei wurde am 18. Februar (alten Stils) des Jahres 1564 in Pisa geboren. Diese Stadt war im Mittelalter eine freie gewesen; zur Zeit Galileis befand sie sich unter florentinischer Herrschaft, welche damals in den Händen des berühmten

[1]) Kepplers Dioptrik im 89. Problem; dasselbe lautet: Tribus convexis erecta et distincta et majora praestare visibilia.

[2]) Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie. Bd. III S. 201.

Geschlechts der Mediceer ruhte. Der Vater Galileis, ein verarmter Edelmann, besafs eine grofse Vorliebe für Musik und Mathematik. Der junge Galilei zeichnete sich durch Lernbegierde, sowie durch Selbständigkeit des Denkens aus. Er widmete sich in Pisa zunächst dem Studium der Medizin, einer Wissenschaft, welche in ihrer damaligen Verfassung wenig geeignet war, einen Geist wie denjenigen Galileis zu fesseln. Es wird erzählt, dafs letzterer vor der Thür den Vorträgen des Mathematikers Ricci lauschte und von den Hörern einige Brocken zu erhaschen suchte. Sobald Ricci davon erfuhr, nahm er sich des jungen Menschen an, und bewirkte, dafs dieser das Studium der Medizin mit demjenigen der Mathematik vertauschte.

Als Fünfundzwanzigjähriger betritt Galilei die Lehrkanzel für dieses Fach. Da er indes mit einer nie zuvor in solchem Mafse bewiesenen Kühnheit die eigene wissenschaftliche Überzeugung über die Autorität stellte, machte er sich in Pisa, wo man ihn des beharrlichen Verfechtens seiner Meinung wegen den Zänker nannte, auf die Dauer unmöglich. Mit Freuden folgte er daher einem vom venetianischen Senat an ihn ergangenen Ruf an die Universität Padua[1]). Die Eigenart Galileis, seine Ansichten auf eigene Beobachtung und zweckmäfsig ersonnene Versuche zu stützen, hatte sich schon in den ersten Jahren seiner wissenschaftlichen Thätigkeit zu Pisa geäufsert. So liefs er Holz, Marmor und Blei von dem schiefen Turme fallen und zeigte, dafs, entgegen der Behauptung der Aristoteliker, die Fallzeit für Körper von verschiedenem Gewicht dieselbe sei. Durch den Wind in Schwingungen versetzte Kronleuchter sollen seine später zu besprechenden Forschungen über die Pendelbewegung veranlafst haben.

Euklid, Appollonios und Archimedes boten ihm während dieser Zeit des wissenschaftlichen Heranreifens die meiste Anregung; auch war er schon frühzeitig der Kopernikanischen Lehre zugethan. In einem wenige Jahre nach seiner Übersiedelung an Keppler gerichteten Briefe bekennt er nämlich, dafs er „seit vielen Jahren“ Anhänger der neuen Weltanschauung sei. Aus dem Schüler wird aber bald ein Meister, der seine Lehrer überflügelt. Nicht in dem Erlernen, sondern in der Weiterentwicklung der Wissenschaft erblickte Galilei seine Aufgabe. Wo Erstarrung eingetreten war, galt es, durch neue Wege und bessere Methoden den Fortschritt der Erkenntnis herbeizuführen. In dieser Richtung

[1]) Wo er am 7. Dezember 1592 seine Antrittsvorlesung hielt.



sehen wir ihn in wachsendem Maſse sich bethätigen, seitdem er das Lehramt in Padua angetreten.

Die Befreiung von den Banden der Scholastik findet auch darin ihren Ausdruck, daſs Galilei, obwohl er das Latein, die Sprache des Mittelalters, beherrscht, in Wort und Schrift sich meist der Muttersprache bedient. Dank für dieses Unterfangen erweist ihm jedoch nur die lernbegierige Jugend, welche dem begeisterten Verkünder einer neuen Ära in Scharen zuströmt. Auch Gustav Adolf, der als Kronprinz in Italien weilte, soll sich in Padua unter seinen Zuhörern befunden haben [1]).

Wir sahen, welche Rolle Galilei in der Geschichte des Fernrohrs spielte [2]). Die Erfindung dieses Instrumentes veranlaſste ihn, sich seit dem Jahre 1609 mit groſsem Eifer und Erfolge astronomischen Beobachtungen zu widmen. Von besonderer Wichtigkeit war die Entdeckung, daſs vier kleinere Weltkörper den Jupiter umkreisen. Dieses Gestirn mit seinen Trabanten bot ihm nämlich sofort einen Analogiebeweis für die Richtigkeit der Kopernikanischen Weltansicht. Wir haben ferner im I. Bande dieses Grundrisses den kurzen Bericht über die eigentümliche Erscheinung kennen gelernt, welche der Planet Saturn aufweist [3]). Ausführlicher hat Galilei über seine astronomischen Entdeckungen in dem „Himmelsboten" [4]) berichtet, einem Buch, das ungeheures Aufsehen erregte, aber auch eine ganze Schar von Gegnern in Bewegung setzte.

Eine weitere Stütze erhielt das Kopernikanische System durch die Entdeckung, daſs die Planeten, ähnlich wie der Mond, Lichtphasen aufweisen. Dieselben erschienen nämlich bald als leuchtende Scheiben, bald waren sie von halbkreis- oder sichelförmiger Gestalt. Letzteres war der Fall, wenn sie ihre von der Sonne beleuchtete Hälfte nicht voll dem Beschauer zukehrten. Damit war geradezu einer der Nachweise geliefert, den die Gegner des Kopernikus forderten. Die Fixsterne erschienen Galilei dagegen nur als leuchtende Punkte und sind es trotz aller Zunahme der vergröſsernden Kraft der Fernröhre bis auf den heutigen Tag geblieben. Sowie Galilei indes das bewaffnete Auge auf den Himmel richtete,

---

1) Siehe Jagemann, Geschichte des Lebens und der Schriften des Galileo Galilei. Weimar 1783. Seite 52.

2) Siehe Seite 114 ds. Bds.

3) Siehe daselbst Seite 40.

4) Sidereus nuntius. Venedig 1610. Diese Schrift findet sich im dritten Bande der Albèrischen Gesamtausgabe der Werke Galileis.

erkannte er, dafs ihre Zahl viele Male die Zahl der mit blofsem Auge sichtbaren Sterne übertrifft[1]). Auch die Berge des Mondes entgingen seiner Beobachtung nicht; ja er ist sogar imstande, die Höhe derselben aus der Länge ihres Schattens zu berechnen. Den Ruhm, die Sonnenflecken entdeckt zu haben, mufste er jedoch mit mehreren zeitgenössischen Astronomen teilen[2]), sie hatten sich selbst Keppler in eigentümlicher Weise bemerkbar gemacht, ohne dafs derselbe sich dabei eines Fernrohrs bedient hätte[3]). Der aus der Bewegung der Flecken gezogene Schlufs, dafs die Sonne sich dreht, war eine weitere Thatsache, die mit der Ptolemäischen Weltansicht nicht wohl in Einklang zu bringen war.

Diese Fülle von Entdeckungen hatte nun zur Folge, dafs die Frage nach der Richtigkeit des Kopernikanischen Systems in den Mittelpunkt der Diskussion gerückt wurde. Alles was in Italien an Bigotterie, an scholastischem Dünkel und an Neid gegen den Ruhm des grofsen Entdeckers herrschte, vereinigte sich, um unter dem Vorgeben, die von Kopernikus begründete und von Galilei verteidigte Lehre sei der heiligen Schrift zuwider, den letzteren zu Fall zu bringen. Es ist dies eins der traurigsten Blätter in der Geschichte der Wissenschaften. Jene angeblich religiösen Bedenken gegen den Fortschritt der letzteren hat keiner mit solch treffenden Worten zurückgewiesen wie Galilei selbst. Es geschah dies in einem an die Grofsherzogin-Mutter von Toskana gerichteten Briefe, aus dem einige Stellen[4]) hier Platz finden mögen:

„Wir bringen das Neue nicht, um die Geister zu verwirren, sondern um sie aufzuklären, nicht um die Wissenschaft zu zerstören, sondern um sie wahrhaft zu begründen. Unsere Gegner aber nennen falsch und ketzerisch, was sie nicht widerlegen können, indem sie sich aus erheucheltem Religionseifer einen Schild machen und die heilige Schrift zur Dienerin ihrer Privatabsichten erniedrigen.

Wer sich an den nackten grammatischen Sinn halten wollte, würde der Bibel Widersprüche Schuld geben, wenn sie von Gottes Auge, Hand oder Zorn redet. Wenn aber solches der Fassungskraft des Volkes entsprechend vorkommt, um wieviel mehr mufste

1) Siehe Bd. I, Seite 40.

2) Siehe Fabricius und Scheiner.

3) Siehe weiter unten bei Keppler.

4) In der von Moritz Carriere gegebenen Übersetzung. Siehe Carriere, Die philosophische Weltanschauung der Reformationszeit. Stuttgart und Tübingen, 1847. Seite 139.

dieselbe bei Gegenständen berücksichtigt werden, die von der Wahrnehmung der Menge weit abliegen und nicht das Seelenheil betreffen, wie es auf dem Gebiete der Naturwissenschaften der Fall ist. Hier mufs man nicht mit der Autorität der Bibel beginnen, sondern mit der Wahrnehmung und dem Beweis. Da die Bibel vieles figürlich sagt, so darf das, was Wahrnehmung und Beweis uns ersichtlich machen, nicht durch solche Stellen der heiligen Schrift in Zweifel gezogen werden, die einen doppelten Sinn haben. Vor allem mufs man sich der Thatsache versichern; ihr kann die Bibel nicht entgegen sein, sonst würde Gott sich selbst widersprechen. Dieselbe redet, wie das damalige Volk die Sache ansah. Hätte sie der Erde Bewegung und der Sonne Ruhe beigelegt, so würde das die Fassungskraft der Menge verwirrt haben. Wo hat aber die Bibel die neue Lehre verdammt? Man setzt das Ansehen der ersteren aufs Spiel, wenn man die Sache anders nimmt, und statt nach erwiesenen Thatsachen den Sinn der Schrift zu deuten, lieber die Natur zwingen, den Versuch leugnen, den Beweis verschmähen will.

Wollte man eine einzelne Einsicht verdammen und die Wissenschaft im übrigen bestehen lassen, so liefse man den Menschen die Gelegenheit, eine als falsch verdammte Ansicht als wahr bewiesen zu sehen. Das Verbieten der Wissenschaft selbst aber wäre gegen die Bibel, die an hundert Stellen lehrt, wie der Ruhm und die Gröfse Gottes wunderbar aus allen seinen Werken hervorleuchten und vor allem im offenen Buche des Himmels zu lesen sind. Und glaube niemand, dafs das Lesen der erhabensten Gedanken, die auf diesen Blättern geschrieben stehen, damit gethan sei, dafs man blofs den Glanz der Sterne angafft. Da sind so tiefe Geheimnisse und so erhabene Begriffe, dafs die Nachtarbeiten und Studien von hundert und aber hundert der schärfsten Geister in tausendjährigem Forschen noch nicht durchgedrungen sind, und die Lust des Forschens und Findens ewig währt."

Trotz aller Bemühungen und Vermittlungsversuche, welche Galilei zu Gunsten der heliocentrischen Weltansicht unternahm, fanden in Rom, wo man ihm anfangs geneigt war, von fanatischen Mönchen ausgehende Anschuldigungen schliefslich Gehör. Im Jahre 1616 kam es zum Verbot aller Schriften, welche die Bewegung der Erde behaupteten. Das Werk des Kopernikus aber wurde einer entprechenden Änderung unterzogen. Das bezügliche Dekret lautet: „Behaupten die Sonne stehe unbeweglich im Centrum der Welt, ist absurd, philosophisch falsch und, weil ausdrücklich der

heiligen Schrift zuwider, förmlich ketzerisch. Behaupten die Erde stehe nicht im Centrum der Welt und habe sogar eine tägliche Rotationsbewegung, ist philosophisch falsch und zum mindesten ein irriger Glaube.“ Die Ironie des Schicksals fügte es, dafs zur selben Zeit, als Galilei den Kampf gegen die Unwissenheit und den Autoritätsglauben aufnahm, das heliocentrische System, dem bis dahin noch manche Unvollkommenheiten anhafteten, durch die Arbeiten Kepplers auf den Rang einer wohlbegründeten Theorie erhoben wurde.

Galilei wirkte zu der Zeit, als das erwähnte Dekret erschien, nicht mehr in Padua. In seinem engeren Vaterlande war Kosmos II., den er als Prinzen unterrichtet hatte, zur Regierung gelangt. Derselbe wünschte dem Lehrer seine Dankbarkeit zu beweisen und ihn als Zierde des eigenen Landes wirken zu sehen. Galilei liefs sich gern zur Rückkehr bewegen, da er mit seiner neuen Anstellung nicht die Verpflichtung übernahm, Vorträge zu halten, sondern ausschliefslich seiner wissenschaftlichen Thätigkeit leben durfte. Länger als ein Jahrzehnt hat er dieselbe ungestört ausüben können. Zwar starb sein hochherziger Gönner; bald darauf gestalteten sich jedoch in Rom selbst die Verhältnisse günstig, indem mit Urban VIII. ein von regem Interesse für die astronomische Wissenschaft beseelter Mann den päpstlichen Stuhl einnahm. Derselbe hatte sogar Gedichte auf die Entdeckung der Jupitertrabanten verfafst und brachte Galilei grofses Wohlwollen entgegen. Alle Bemühungen des letzteren, Urban von der Richtigkeit der Kopernikanischen Lehre zu überzeugen und eine Zurücknahme der kirchlichen Entscheidung vom Jahre 1616 herbeizuführen, waren jedoch vergeblich.

Unterdessen schrieb Galilei in der Stille seiner Villa Arcetri den „Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme“, welcher die glänzendste Verteidigung der Kopernikanischen Lehre darstellt[1]). Ein wichtiger, zur Einführung in dieses Werk geeigneter Abschnitt, der von der Rotationsbewegung der Erde handelt und mit schlagenden Gründen die Ptolemäische Ansicht von der täglichen Drehung der Fixsternsphäre widerlegt, wurde bereits im I. Bande mitgeteilt[2]).

[1]) Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische, von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von Emil Strauss. Leipzig, B. G. Teubner 1891. Der Titel des Originals lautet: Dialogo di Galileo Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo, Ptolemaico e Copernicano. MDCXXXII.

[2]) Bd. I, Seite 26 ff.



Mit dem Verbot vom Jahre 1616 sucht sich der Verfasser des Dialogs dadurch abzufinden, dafs er die Lehre des Kopernikus nicht als seine eigene Meinung vorträgt, sondern sie einer der sich unterredenden Personen, dem Salviati, in den Mund legt, während das Ptolemäische System von Simplicio verteidigt wird. Jeder Einsichtige konnte indessen leicht erkennen, dafs der Autor selbst mit Salviati zu identifizieren sei. Trotzdem erteilte die römische Censurbehörde, nachdem einige von ihr gewünschte Änderungen vorgenommen waren, die Erlaubnis zum Druck des Buches, das im Jahre 1632 erschien und grofses Aufsehen erregte, aber auch die Thätigkeit der Feinde und Neider von neuem wachrief. Insbesondere war es der Jesuit Scheiner, mit welchem Galilei einen Prioritätsstreit hinsichtlich der Entdeckung der Sonnenflecken ausgefochten hatte, der gegen den Verfasser des Dialogs mit allen Mitteln zu Felde zog und die Angelegenheit vor das Forum der Inquisition zu bringen suchte. Die freundliche Gesinnung, welche Papst Urban VIII. bisher gegen Galilei bewiesen, verstand man in das Gegenteil zu verkehren. Man redete dem Papste nämlich ein, in dem Simplicio, dem ungeschickten Verteidiger der Ptolemäischen Ansicht, habe man ihn selbst zu karrikieren gesucht.

Es würde hier zu weit führen und unserem Zwecke nicht entsprechen, wenn wir uns mit den Einzelheiten des gegen Galilei in Scene gesetzten Inquisitionsprozesses befassen wollten[1]). Der siebzigjährige, durch Krankheit gebeugte Greis, dem sein Vaterland unsterblichen Ruhm verdankt, wird unter der Androhung, ihn in Eisen fortschaffen zu lassen, gezwungen, nach Rom zu reisen. Dort angelangt, mufste das weitere Verfahren ihn bald davon überzeugen, dafs es hier nur zwei Möglichkeiten gab. Entweder er teilte das Schicksal Giordano Brunos, welcher im Jahre 1600 in Rom den Scheiterhaufen bestiegen hatte; oder er that das, was Bruno zu thun sich geweigert, er widerrief den Inhalt seines ganzen bisherigen Forschens und Denkens, indem er nach der Forderung der Inquisition die Lehre des Kopernikus als irrtümlich abschwor und verfluchte. Galilei wählte den letzteren Weg. Er beugte sich dem Zwange. Auch mochte ihn die Über-

[1]) Es sei verwiesen auf Gebler, Galileo Galilei und die Römische Curie. Nach authentischen Quellen dargestellt. Stuttgart 1876—1880, sowie auf Wohlwill, der Inquisitionsprozefs des Galileo Galilei. Berlin 1870. Eine neuere Biographie enthält der 22. Band von Bettelheims „Geisteshelden“: S. Günther, Kepler und Galilei. Berlin 1896.



zeugung leiten, dafs der Märtyrertod ebensowenig der Wissenschaft wie der Kirche zum Vorteil gereichen könne. Die Abschwörungsformel, welche er nach Androhung der Tortur, unter schmachvollen Formen — er war nur mit einem Hemde bekleidet — aussprechen mufste, bildet das unwürdigste Gegenstück zu den schönen Worten, mit denen er selbst in dem oben mitgeteilten Briefe Toleranz gepredigt.

Das Galilei zugeschriebene Wort: „Und sie bewegt sich doch" ist gewifs nicht bei diesem Anlafs gesprochen worden[1]). Dafs es jedoch im Grunde seines Herzens erklungen, wer möchte daran zweifeln? Die Jahre, welche Galilei nach diesen traurigen Ereignissen noch gelebt hat, waren voll von Bitternissen. Die Inquisition wies ihm die Villa Arcetri als Wohnsitz an, doch erstreckte sie ihre Überwachung auf seine privatesten Angelegenheiten, sodafs er, wenn auch nicht dem Namen nach, so doch thatsächlich ihr Gefangener blieb. In seinen Wunsch, nach Florenz übersiedeln zu dürfen, willigte man erst, nachdem sein Augenleiden zur völligen Erblindung geführt hatte. Dennoch war die Schaffenskraft Galileis, welcher in steigendem Mafse, trotz seiner Niederlage in dem Inquisitionsprozefs, die Bewunderung der Zeitgenossen errang, keineswegs gelähmt. Zwar beschäftigten ihn nach seiner Verurteilung von astronomischen Problemen nur noch solche, bei denen keine Erneuerung des Konfliktes mit der römischen Kurie zu befürchten war. So fuhr er ungeachtet seines beginnenden Augenleidens mit teleskopischen Untersuchungen fort und entdeckte die Libration des Mondes[2]). Auch das Problem der Längenbestimmung, an welchem alle Schiffahrt treibenden Nationen das gröfste Inter-

[1]) Siehe auch G. Bertholds in der Zeitschrift für Geschichte der Mathematik (1897) erschienene Notiz: Über den angeblichen Ausspruch Galileis „Eppur si muove".

[2]) Galileis Brief über seine Entdeckung der Libration datiert vom 20. Februar 1637. Unter Libration versteht man kleine Schwankungen des Mondes in seiner Stellung zur Erde, welche bewirken, dafs vom Erdmittelpunkte aus betrachtet nicht stets derselbe Punkt der Mondoberfläche im Centrum der Mondscheibe erscheint. Man unterscheidet Libration in Länge (in der Ebene des Mondäquators) und Libration in Breite (senkrecht zur Ebene des Mondäquators). Aber auch abgesehen von derartigen Schwankungen, wird die Mondscheibe von verschiedenen Punkten der Erdoberfläche aus gesehen oder für denselben Ort zu verschiedenen Tageszeiten nicht genau dieselbe sein. Es ist dies eine nur scheinbare, parallaktisch genannte Libration. Galilei wies auf letztere hin und entdeckte die Libration in Breite. Die Libration in Länge bemerkte erst Hevel, der bedeutendste Selenograph der neueren Zeit (Hevels Selenographie, Danzig 1647).

esse hatten, beschäftigte Galilei von neuem. Seine Lieblingsidee, die Verfinsterungen der Jupitertrabanten zu diesem Zwecke zu verwerten, wurde, nachdem sie fast zwei Jahrzehnte geruht hatte[1]), wieder hervorgezogen. Im Grunde war es derselbe Gedanke, welcher schon die Alten bei ihren Längenbestimmungen leitete. Periodisch wiederkehrende Himmelsereignisse, die von einem grofsen Teile der Erde gesehen werden, bieten in beiden Fällen einen Anhalt zur Ermittlung des Zeitunterschiedes für den in Betracht kommenden und einen seiner geographischen Länge nach bestimmten Ort. Im Altertum hatte man sich hierzu des Eintritts der Mondfinsternisse bedient. Doch ist ein solches Ereignis so selten, dafs es für die Schiffahrt nicht in Betracht kommt. Die Umlaufszeiten der Jupitermonde sind dagegen von so kurzer Dauer, dafs fast in jeder Nacht einer derselben durch den Centralkörper verfinstert wird. Ist nun, schlofs Galilei, die Umlaufsbewegung der Monde genau bekannt und in Tabellen für den täglichen Gebrauch der Seefahrer niedergelegt, so repräsentiert das System des Jupiters eine im Weltraum schwebende, der Beobachtung durch gute Teleskope zugängliche Uhr, aus deren Vergleich mit einer nach der Sonne gestellten Uhr der Längenunterschied zwischen dem Ort, auf welchen die Tabellen sich beziehen und demjenigen, an welchem sich das Schiff befindet, gefunden werden kann. Galilei wufste für seine Methode die vereinigten Staaten von Holland zu interessieren und stellte denselben Ephemeriden der Jupitertrabanten, sowie hinlänglich genau gehende Uhren in Aussicht. Zunehmendes körperliches Leiden brachte jedoch seine Bemühungen, die auch ohnehin schwerlich zu einem Gelingen geführt haben würden, zum Stillstande. Erst im 18. Jahrhundert waren Theorie und Praxis weit genug fortgeschritten, um die Mittel zur Lösung des so überaus schwierigen Problems an die Hand zu geben.

Wir gelangen jetzt zu Galileis Arbeiten auf dem Gebiete der Mechanik. Dieselben waren in solchem Mafse grundlegend, dafs Galilei in seinem Hauptwerk über diesen Gegenstand, den „Unterredungen", mit Recht von neuen Wissenszweigen sprechen konnte. Die Zeitgenossen zwar, soweit sie nicht vom Fanatismus geblendet waren, bewunderten vorwiegend seine Leistungen

---

1) Er hatte sich deswegen 1616 mit Philipp III. von Spanien vergeblich in Verbindung gesetzt (S. Jagemann, Geschichte des Lebens und der Schriften des G. Galilei. 1873. S. 146).



auf astronomischem Gebiete. Die Nachwelt hat jedoch anerkannt, dafs die Begründung des dynamischen Teiles der Mechanik eine Geistesthat von weit höherem Range und weit gröfserer Bedeutung für den Fortschritt der menschlichen Erkenntnis war als jene Beobachtungen, von denen, ohne das Verdienst Galileis zu schmälern, gesagt werden kann, dafs sie jedes andere mit einem guten Fernrohr bewaffnete Auge gleichfalls gemacht haben würde.

Mit mechanischen Problemen hatte sich Galilei, anknüpfend an Archimedes und im Kampfe gegen die irrigen Ansichten der Peripatetiker, während seiner ganzen Laufbahn beschäftigt. Nach seiner Verurteilung unternahm er es, die Resultate seiner Forschungen zu dem genannten Hauptwerk [1]) zusammenzufassen. Bei dieser Arbeit hatte er wenigstens keine Belästigung von seiten kurzsichtiger Gegner zu befürchten. Wir haben im I. Bande dieses Grundrisses Galilei selbst die peripatetischen Ansichten über den Fall der Körper widerlegen und richtige an deren Stelle setzen sehen [2]). Jetzt werden wir uns mit den Prinzipien, welche durch ihn in die Naturwissenschaft eingeführt wurden, etwas eingehender zu befassen haben. Dieselben betreffen vor allem die Dynamik oder die Lehre von der Bewegung der Körper, deren Ansätze wir bereits bei Leonardo da Vinci, Benedetti und Tartaglia vorfanden. Durch seine Untersuchung des Falles, der Wurf- und der Pendelbewegung zeigte Galilei, wie durch Vereinigung von messender Beobachtung mit mathematischem Beweisverfahren an die Stelle unklarer schwankender Begriffe wissenschaftliche Erkenntnis gesetzt werden kann. Er schuf so die Methode, welche auf naturwissenschaftlichem Gebiete allein zur Entdeckung der Wahrheit führt und der im weiteren Verfolg alle bewundernswerten Resultate der neueren Zeit zu verdanken sind.

„Der bisherigen oberflächlichen Beobachtung ist es zwar nicht entgangen, dafs die Geschwindigkeit frei fallender Körper mit der Fallzeit zunimmt. In welchem Mafse aber die Beschleunigung stattfindet, ist bisher nicht ausgesprochen worden, denn so viel ich weifs, hat niemand bewiesen, dafs die vom fallenden Körper

---

[1]) Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und herausgegeben von A. v. Oettingen. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann 1890 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 11). Der Originaltitel lautet: Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. Leyden 1638

[2]) Siehe Bd. I, Seite 32 ff.



in gleichen Zeiten zurückgelegten Strecken sich zueinander wie die ungeraden Zahlen verhalten.“ Mit diesen Worten leitet Galilei den dritten Abschnitt[1]) seiner „Unterredungen“ ein. „Man hat beobachtet“, fährt er fort, „dafs die Wurfgeschosse eine gewisse Kurve beschreiben, dafs letztere aber eine Parabel ist, hat niemand gelehrt. Dafs aber dieses sich so verhält und noch vieles andere nicht minder Wissenswerte, soll von mir bewiesen werden. Zu dem, was noch zu thun übrig bleibt, wird die Bahn geebnet, nämlich zur Errichtung einer sehr weiten aufserordentlich wichtigen Wissenschaft, deren Anfangsgründe die vorliegende Arbeit bieten soll, in deren tiefere Geheimnisse einzudringen aber solchen Geistern vorbehalten bleibt, die mir überlegen sind.“ In diesen Worten sprechen sich zwei schöne Charaktereigenschaften Galileis, Wertschätzung eigener Errungenschaften gepaart mit wahrer Bescheidenheit, aus.

Wir wollen jetzt die wesentlichsten Punkte der „Unterredungen“ einer kurzen Betrachtung unterziehen. Die Peripatiker hatten eine Reihe von Naturerscheinungen, wie das Saugen, das Aneinanderhaften glatter Platten, das Aufsteigen von Flüssigkeiten in der Pumpe u. s. w. auf ein Widerstreben der Natur, einen leeren Raum oder ein Vakuum zuzulassen, zurückgeführt. In Ermangelung eines mechanischen Prinzipes wollte man auf solche Weise der Natur ein psychisches Vermögen andichten. In dieser Vakuumtheorie bleibt Galilei noch befangen; aus ihr sucht er z. B. die Kohäsion zu erklären. Ein wesentlicher Fortschritt den blofsen Spekulationen seiner Vorgänger gegenüber ist es jedoch, dafs er das Experiment auf dieses Gebiet anwendet und die Gröfse desjenigen Widerstandes, welchen das Vakuum bietet, zu bestimmen sucht. Dies geschieht, indem ein Kolben aus einem mit Wasser gefüllten, die Öffnung nach unten kehrenden Cylinder herausgezogen und die Gröfse des hierzu erforderlichen Gewichtes ermittelt wird (siehe Fig. 13). Ferner kennt Galilei die Erscheinung, dafs das Wasser mittelst Pumpen nur auf eine Höhe von 18 italienischen Ellen gehoben werden kann. Thatsächlich wird in beiden Fällen bekanntlich die Gröfse des

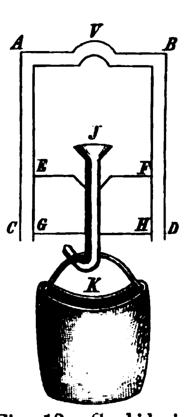


Fig. 13. Galileis Versuch, den Widerstand des Vakuums zu messen[2]).

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 3.
[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Fig. 4.

Luftdrucks gemessen. Experimentell gewonnene Resultate besitzen also immer Wert, gleichgültig, ob die daran geknüpfte Theorie dieselben richtig deutet oder nicht.

Dafs Galilei das Steigen der Flüssigkeiten und verwandte Erscheinungen nicht auf den Luftdruck zurückführte, ist um so verwunderlicher, als ihm die Thatsache, dafs die Luft Gewicht besitzt, wohl bekannt war. Aristoteles hatte der Luft und dem Feuer absolute Leichtigkeit, d. h. das Bestreben, sich in gerader Richtung vom Centrum der Erde fortzubewegen, zugeschrieben. Wäre diese Annahme richtig, so würde, wie Galilei anführt[1]), daraus folgen, dafs beim Verdichten der Luft die Leichtigkeit und damit die Tendenz nach oben zunehme. Der Versuch lehrte indes das Gegenteil. Galilei nahm einen Glaskolben und prefste mittelst einer Spritze eine grofse Menge Luft in denselben hinein. Dann wurde der Ballon auf einer genauen Wage ins Gleichgewicht gebracht. Öffnete man ihn jetzt, so trat die zusammengeprefste Luft heraus und der Ballon wurde merklich leichter, sodafs von der Tara etwas fortgenommen werden mufste, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. „Unzweifelhaft ist das Gewicht des Fortgenommenen“ sagt Galilei[2]), „genau gleich dem der Luft, die gewaltsam hineingeprefst war.“

Hatte man einmal die Luft als einen schweren Körper erkannt, so lag nichts näher als die Frage, wie grofs ihr Gewicht im Verhältnis zu demjenigen anderer Naturkörper z. B. dem des Wassers sei. Auch diese Aufgabe der Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Luft, löste Galilei durch einen höchst sinnreichen Versuch. Er prefste in einen mit Luft gefüllten Kolben Wasser, bis derselbe zu $^3/_4$ seines Inhalts damit angefüllt war, ohne dafs jedoch die Luft entweichen konnte. Das Gewicht dieses Ballons mit seinem Inhalt wurde bestimmt. Darauf wurde eine die komprimierte Luft abschliefsende Membran durchstochen, um dasjenige Luftquantum, welches vorher $^3/_4$ des Ballons einnahm, entweichen zu lassen. Galilei wog jetzt wieder und fand eine dem Gewichte jener Luftmenge entsprechende Differenz. War diese Bestimmung bei den damaligen Hilfsmitteln und den der Methode anhaftenden Unvollkommenheiten auch nicht eine genaue zu nennen, so ergab sie doch, dafs die Luft sehr viel leichter als das Wasser ist[3]).

---

1) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 70.

2) A. a. O. Seite 71.

3) Galilei giebt nämlich an (Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 72), sie sei gegen 400 mal leichter, während sie thatsächlich etwa 800 mal so leicht ist.

Dafs Galilei trotz dieser Kenntnisse von der Natur der Luft doch bei der Vakuumtheorie beharrte, zeigt uns, wie wir so oft aus der Geschichte der Wissenschaften erkennen, dafs auch ein solcher Geist sich nicht immer von vorgefafsten Meinungen zu befreien vermag.

Gröfseres als in der Physik der gasförmigen Körper, deren experimenteller Ausbau insbesondere auf deutschem Boden durch Otto von Guericke erfolgte, hat Galilei dadurch geleistet, dafs er den Begriff der gleichförmig beschleunigten Bewegung diskutierte und experimentell nachwies, dafs der Fall über die schiefe Ebene eine derartige Bewegung sei. Die Gröfse der Beschleunigung für den freien Fall zu bestimmen, vermochte er allerdings noch nicht. Erst Huygens stellte fest, dafs der Geschwindigkeitszuwachs 10 m beträgt, sodafs ein Körper nach Ablauf der 1. 2. 3. . . . Sekunde eine Geschwindigkeit von 10, 20, 30 . . . Metern besitzt. Solche Gröfsen liefsen sich durch einfache Beobachtung nicht wohl ermitteln. Galilei wählt daher für seine Fallversuche die schiefe Ebene und giebt uns über die Ausführung und die erhaltenen Resultate folgenden Bericht[1]). In ein Brett von 12 Ellen Länge befand sich eine Rinne von einem halben Zoll Breite. Dieselbe war gerade gezogen und mit sehr glattem Pergament ausgeklebt. Darauf wurde das Brett an dem einen Ende gehoben, bald eine, bald zwei Ellen hoch. Sodann liefs Galilei eine glattpolierte Messingkugel durch die Rinne laufen und bestimmte die Fallzeit für die ganze Länge derselben. Jeder einzelne Versuch wurde zur genauen Ermittlung der Zeit häufig wiederholt. Es ergaben sich gar keine Unterschiede. Liefs man dagegen die Kugel nur durch $^1/_4$ der Strecke laufen, so erforderte dies genau die halbe Zeit. Die Strecken verhielten sich somit wie 1 : 4, wenn die Fallzeiten in dem Verhältnis 1 : 2 standen; oder anders ausgedrückt die Strecken verhielten sich wie die Quadrate der Zeiten ($1 : 4 = 1^2 : 2^2$). Dafs dieses Gesetz nicht nur in dem gewählten Beispiel seine Richtigkeit hat, sondern eine für alle Fälle zutreffende Gültigkeit besitzt, wurde durch hundertfache Wiederholung unter jedesmaliger Abänderung der Strecke und des Neigungswinkels dargethan.

Zur genauen Bestimmung der Fallzeit diente dabei folgende Vorrichtung. Ein gröfseres Gefäfs war mit Wasser gefüllt und besafs einen engen Kanal im Boden, durch den sich ein feiner

---

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 25.



Strahl ergofs. Dieser wurde während jeder beobachteten Zeit in ein kleineres Gefäfs geleitet. Die auf solche Weise aufgefangene Flüssigkeitsmenge wog man auf einer sehr genauen Wage. Aus den Differenzen der Wägungen ergab sich das Verhältnis der Gewichte, welches dem Verhältnis der Zeiten mit solcher Genauigkeit entsprach, dafs die zahlreichen Beobachtungen niemals merklich von einander abwichen.

Wir haben Galileis Experimenten mit der schiefen Ebene eine etwas gröfsere Ausführlichkeit gewidmet, weil sie eine der ersten, konsequent bis zur Auffindung des Naturgesetzes durchgeführten Versuchsreihen darstellen, sowie einen interessanten Einblick in die Art des induktiven Verfahrens gewähren. Wir wollen in Nachstehendem die leitenden Gedanken und die Versuche kennen lernen, welche denselben Forscher zur Erklärung der Pendel- und Wurfbewegung geführt haben und uns dabei eng an die von ihm selbst gegebene Darstellung anschliefsen.

Galilei hatte bei der Anwendung der schiefen Ebene neben der Verringerung der Beschleunigung auch das Ziel im Auge, den Widerstand des Mediums zu vermindern. Läfst man nämlich zwei an Gewicht sehr verschiedene Körper fallen, etwa eine Kork- und eine Bleikugel, so wird das Medium, welches stets geöffnet und zur Seite geschoben werden mufs, einen gröfseren Einflufs auf den leichten Körper ausüben, als auf den mit einem heftigeren Impuls begabten schweren, und der erstere wird infolgedessen zurückbleiben [1]).

Wurde nun der Widerstand des Mediums durch die Verlangsamung, welche der Fall beim Gebrauch der schiefen Ebene erfährt, hinreichend vermindert, so liefs sich doch nicht verkennen, dafs durch die Berührung mit dieser Ebene ein neuer Widerstand gegeben war. Gab es nun ein Mittel, auch den Einflufs dieses Widerstandes zu verringern, beziehungsweise ihn ganz zu beseitigen? Das letztere wurde erreicht, indem man die Kork- sowie die Bleikugel an zwei gleichen feinen Fäden von 4—5 Ellen Länge aufhing. Entfernte man dann beide Körper aus der Ruhelage und liefs sie gleichzeitig los, so wurden Kreisbögen von gleichen Halbmessern beschrieben. Die Kugeln schwangen über ihre ursprüngliche Lage hinaus, kehrten auf denselben Wegen zurück und, nachdem sie wohl 100 mal hin- und hergegangen waren, zeigte sich deutlich, dafs die Bewegung des schweren Körpers so sehr mit derjenigen

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 74.



des leichteren übereinstimmte, dafs nicht die geringste Verschiedenheit zu bemerken war. Die Pendelbewegung stellte sich somit als eine Fallbewegung dar, bei welcher der Widerstand des Mediums sehr eingeschränkt und der bei einer geneigten Ebene vorhandene Reibungswiderstand gänzlich vermieden ist.

Noch eine weitere Analogie zwischen der Pendelbewegung und dem Fall über die schiefe Ebene liefs sich erkennen. Galilei hatte gezeigt[1]), dafs ein Körper, welcher längs der zu einem beliebigen Bogen gehörenden Sehne herabfällt, z. B. von A, B, C, D oder E nach F, dieselbe Zeit gebraucht, betrage der entsprechende Bogen volle 180° oder weniger Auch für das Pendel ergab sich, dafs dasselbe, um den Punkt A schwingend, in derselben Zeit, in welcher es den Weg $E_1 F$, der Sehne EF entsprechend, zurücklegt, bei gröfserem Ausschlage die Strecke $D_1 F$, entsprechend der Sehne DF, durchfällt. Hatte man z. B. das Bleipendel um 50° aus dem Lote entfernt[2]) und liefs es frei schwingen, so beschrieb es jenseits des Lotes gleichfalls nahezu 50°, im ganzen also 100°. Zurückkehrend legte es einen etwas kleineren Bogen zurück, und nach einer grofsen Anzahl von Schwingungen gelangte es schliefslich zur Ruhe. Jede dieser Schwingungen kam in einer sich stets gleich bleibenden Zeit zustande, sowohl die von 90° Ausschlag, wie diejenige von 50, 20, 10 oder 4°. Die Geschwindigkeit mufste also allmählich abnehmen, da in gleichen Zeiten immer kleinere Bögen beschrieben wurden. Ganz denselben Vorgang nahm Galilei bei der Korkkugel wahr, wenn er sie an einem ebenso langen Faden befestigte, nur dafs diese nach einer kleineren Zahl von Schwingungen zur Ruhe kam. Alle geschahen in gleichen Zeiten und zwar in derselben Zeit wie diejenigen der Bleikugel.

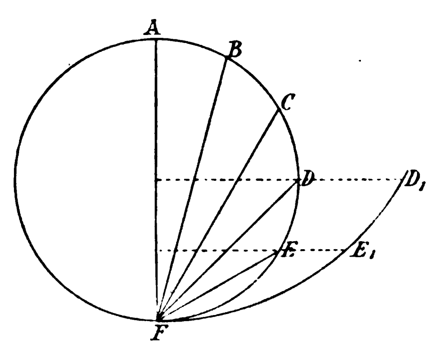


Fig. 14. Zur Erläuterung der Isochronie der Pendelschwingungen.

Für gröfsere Ausschläge des Pendels besitzt, wie man später erkannte, dieses Gesetz nicht mehr volle Gültigkeit, da der Kreis-

1) Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 35.
2) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 75.

bogen keine Isochrone oder Kurve gleicher Schwingungsdauer ist. Huygens wies später nach, dafs dieses für die Cykloide zutrifft. Da die Krümmung beider Kurven in der Nähe der Ruhelage F jedoch (siehe Fig. 15) nahezu gleich ist, so gilt das Gesetz von der Isochronie der Pendelschwingungen für kleine Ausschlagswinkel mit hinreichender Genauigkeit. Auffällig bleibt es allerdings, dafs Galilei die bei gröfseren Winkeln eintretende Differenz nicht erwähnt. Es geschieht dies wohl daher, weil er sie allein auf den wachsenden Widerstand des Mediums bei der schnelleren Bewegung durch einen gröfseren Kreisbogen setzte. Überhaupt beschränkt sich Galilei vorwiegend auf die experimentelle Erforschung der Pendelbewegung, während die mathematische Analyse derselben späteren Decennien vorbehalten blieb. Wieder war es Huygens, dem wir die Formel für diese Bewegung, sowie die Verwendung des Pendels in den Uhren verdanken. Die Idee, das Pendel zur Zeitmessung zu gebrauchen, hat auch Galilei schon gehabt, ohne jedoch eine für die praktische Verwertung hinreichende Lösung zu finden. Auch dehnte er seine Untersuchungen auf Pendel verschiedener Länge aus und fand, dafs ein Pendel, um doppelt so langsam zu schwingen wie ein anderes, viermal so lang sein mufs, während der neunfachen Länge eine dreimal so grofse Schwingungszeit entspricht, sodafs sich also die Pendellängen wie die Quadrate der entsprechenden Schwingungszeiten verhalten[1]).

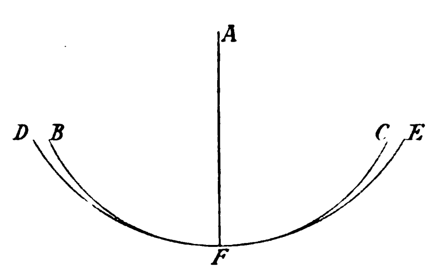


Fig. 15. Kreis und Cykloide als Bahnen des schwingenden Körpers.

Nachdem die Pendelbewegung als eine besondere Art der Fallbewegung erkannt war, ergab sich dem Scharfsinn Galileis dasselbe für den Wurf. Bezüglich dieses Vorgangs war die blofse Spekulation zu den ungereimtesten Ansichten gelangt. Einige Klarheit findet sich zwar schon bei den genannten Vorläufern Galileis[2]); letzterem blieb es jedoch vorbehalten, auf Grund der von ihm erkannten Prinzipien eine wahre und erschöpfende Analyse der Wurfbewegung zu geben. Es war dies zunächst das Prinzip der Trägheit oder

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 11. Seite 84.

[2]) Siehe Seite 100 ds. Bds.

des Beharrungsvermögens, nach welchem die Bewegung auf einer unbegrenzten horizontalen Ebene sich bewegender Körper, wenn alle Widerstände ausgeschlossen sind, gleichförmig ist und unaufhörlich fortbesteht [1]). Wird dann, so lautet das zweite Prinzip, ein solcher Körper einer Kraft unterworfen, so kombiniert sich die neue Bewegung, welche aus der Wirkung dieser Kraft hervorgeht, mit der ersten schon bestehenden. Ist z. B. die horizontale Ebene, auf welcher der Körper sich dem Gesetze der Trägheit zufolge fortbewegt, nicht unendlich, sondern begrenzt, und ist der Körper schwer, so wird derselbe, am Ende der Horizontalen angelangt, sich zwar weiter bewegen, zu seiner gleichförmigen, unzerstörbaren Bewegung gesellt sich indes die durch die Schwerkraft erzeugte, sodafs eine zusammengesetzte Bewegung entsteht. Solcher Art nun ist die Wurfbewegung. Der Körper wird eine Bahn von stetiger Krümmung, und zwar, wie sich leicht zeigen läfst, eine Halbparabel beschreiben. Es sei nämlich [2]) die horizontale Ebene, längs welcher der Körper sich gleichförmig fortbewegt AB. Am Ende B derselben fehlt die Stütze, und der Körper unterliegt infolge seiner Schwere einer Bewegung längs der Senkrechten BN. Man denke sich AB nach E hin fortgesetzt und teile gewisse gleiche Strecken BC, CD, DE darauf ab. Gelangt der Körper infolge seiner gleichförmigen Bewegung nach C, so denken wir uns das durch den Fall bedingte Stück CJ hinzugefügt. Der Körper wird sich somit nach Ablauf derjenigen Zeit, welche der Bewegung von B nach C entspricht, im Punkte J befinden. Während der Körper infolge der gleichförmigen Bewegung von C nach D gelangt, also dasselbe Stück zurücklegt wie vorher, ist die Fallstrecke gleich 3 CJ oder der Gesamtfallraum DF = 4 CJ. Hat endlich nach Ablauf des dritten Zeitteils der Körper infolge der gleichförmigen Bewegung die dreifache Strecke BE zurückgelegt, so würde ihn die Fall-

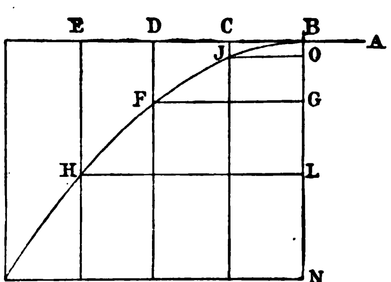


Fig. 16. Galileis Darstellung der Wurfbewegung.

[1]) Näheres über die Entdeckung dieses Prinzips siehe bei E. Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes (Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft. Bd. XIV und XV).

[2]) Galileis Unterredungen und mathematische Demonstrationen. Siehe Ostwalds Klassiker Nr. 24, Fig. 108.

bewegung von B nach L geführt haben, welche Strecke das Neunfache von CJ ist u. s. f. Nun verhalten sich die Quadrate von BC, BD, und BE, welche Stücke wir als die Ordinaten der Kurvenpunkte J, F und H bezeichnen wollen, wie die Strecken CJ, DF und EH, nämlich wie 1 : 4 : 9. Diese Strecken CJ, DF und EH nennt man die Abcissen der Punkte J, F und H. Die analytische Geometrie lehrt nun, dafs alle Punkte, deren Abcissen sich verhalten wie die Quadrate der zugehörigen Ordinaten, einer Parabel angehören [1]).

Wir haben hiermit die Art der Behandlung, welche Galilei den Problemen der Mechanik angedeihen liefs, hinreichend kennen gelernt und werden ihm die Berechtigung, von neuen Wissenszweigen zu sprechen, voll zugestehen müssen. Durchdrungen von der Bedeutung des erschlossenen, auf der innigen Verknüpfung des Experiments mit der mathematischen Deduktion beruhenden neuen Weges ruft er am Schlusse seines dritten Gespräches aus [2]): „Die in dieser kurzen Abhandlung vorgeführten Sätze werden, wenn sie in die Hände anderer denkenden Forscher gelangen, immer wieder zu neuen, wunderbaren Erkenntnissen führen; und es wäre denkbar, dafs in solcher Weise eine würdevolle Behandlung des Gegenstandes sich allmählich auf alle Gebiete der Natur erstreckte.“ Diese Vorahnung sollte schon ein Menschenalter nach Galileis Hinscheiden durch die Thaten eines Newton, Huygens und anderer Forscher der Erfüllung nahe gebracht werden.

Galilei war nach den Berichten von Zeitgenossen grofs, stark gebaut und von ehrwürdigem Aussehen. Die Stirn war hoch, und seine Augen voll Feuer, seine Rede angenehm und ausdrucksvoll. Dabei war er kein einseitiger Gelehrter. Seine Erholungsstunden widmete er der Musik und Malerei, selbst einige Sonette sind von ihm vorhanden. Diese künstlerische Ader Galileis kam auch in seinen Schriften dadurch zum Ausdruck, dafs dieselben neben ihrer wissenschaftlichen Bedeutung sprachlich zu dem Vollendetsten gehören, was die italienische Litteratur des 17. Jahrhunderts hervorgebracht hat. Gelehrte Unterhaltungen führte Galilei nur mit seinen Freunden, suchten Unberufene ihn in solche hineinzuziehen, so wufste er stets geschickt abzulenken.

---

[1]) Der analytische Ausdruck für diese Kurve lautet: $y^2 = 2\,px$. Für zwei Punkte $x_, y_,$ und $x_{,,} y_{,,}$ erhalten wir $y_,^2 = 2\,px_,$ und $y_{,,}^2 = 2\,px_{,,}$. Die Division der beiden Gleichungen ergiebt das oben ausgesprochene Gesetz: $x_, : x_{,,} = y_,^2 : y_{,,}^2$.

[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 80.



Die gegen ihn gerichteten Verfolgungen setzten sich bis über das Grab hinaus fort. Sogar das letztere selbst wurde ihm streitig gemacht. Erst ein Jahrhundert nach Galileis Tode wurde seinem letzten Wunsche gewillfahrt, indem man die irdischen Überreste des grofsen Forschers in der Kirche Santa Croce zu Florenz bestattete. Ein prächtiges Denkmal schmückt jetzt diesen Ort. Von gleicher Tragik war das Geschick der handschriftlichen Hinterlassenschaft Galileis. Von seinem Sohne sehr vernachlässigt, von einem Enkel in einer skrupulösen Anwandlung zum Teil verbrannt, gelangte sie endlich in die Hände Vivianis, der Galilei die letzten traurigen Lebensjahre ertragen geholfen. Vivianis Absicht, diese Geistesschätze durch eine Herausgabe zu heben, wurde jedoch vereitelt. In Florenz, wo mit dem Enkel desjenigen Mediceers, der Galilei in seinem Lande eine Ehrenstätte bereitet hatte, Andächtelei und Pfaffenherrschaft den Thron bestiegen, war der Name des grofsen Mannes geradezu verhafst geworden. Viviani sah sich schliefslich in der Furcht, dafs ihm auf obrigkeitlichen Befehl die Schriften abgenommen werden könnten, genötigt, dieselben einem Versteck anzuvertrauen. Erst im nachfolgenden Jahrhundert wurden sie wieder entdeckt und sollten schon als Makulatur in die Hände eines Krämers wandern, als man noch rechtzeitig ihren Wert erkannte und wenigstens einen Teil in die grofsherzogliche Bibliothek zu Florenz hinüberrettete.

Auf Galilei, Bruno, Keppler und manche anderen Männer, durch welche die neuen Anschauungen zum Ausdruck gelangten, im Ringen mit dem Althergebrachten, vor dem sich ein Wall von Vorurteilen schützend ausbreitete, pafst so recht eigentlich Goethes Wort:

Die wenigen, die was davon erkannt,
Die thöricht g'nug ihr volles Herz nicht wahrten,
Dem Pöbel ihr Gefühl, ihr Schauen offenbarten,
Hat man von je gekreuzigt und verbrannt.

Und dennoch, trotz aller Unbilden, sollte die eingebrachte Saat herrlich aufgehen und Früchte hervorbringen, deren die Menschheit zum weiteren Fortschreiten nicht entraten konnte.

Zunächst fand Galilei in Italien eine Anzahl begeisterter Schüler, die im Sinne des Meisters dessen Werk fortsetzten, wenn ihnen meist auch nur ein weit bescheideneres Können verliehen war. Vivianis und seiner Bemühungen haben wir schon gedacht. Ferner ist Toricelli zu nennen, der vor allem zur Fortsetzung der Ideen und Untersuchungen Galileis berufen war. Beide

Männer hatten während der qualvollen Monate, welche der Auflösung ihres Lehrers vorhergingen, mit demselben in unmittelbarem Verkehr gestanden und pietätvoll aufgezeichnet, was den unermüdlichen Geist während der letzten Spanne seines Erdenwallens beschäftigte. Sie umstanden mit den Angehörigen das Sterbebett, an welchem leider auch die Bevollmächtigten der Inquisition nicht fehlten. An Toricelli und Viviani, welche gemeinsam das Barometer erfanden und die Lehre vom Horror vacui widerlegten, schlossen sich eine Anzahl von gleichem Streben erfüllter Männer an. So entstand in Florenz eine Vereinigung, welche sich die Aufgabe stellte, die Natur auf dem Wege des Experimentes zu erforschen. Diese Accademia del Cimento[1]) wurde jedoch schon nach zehn Jahren[2]) infolge der in Florenz herrschenden hierarchischen Einflüsse wieder aufgelöst; gleichzeitig wurden jedoch die von ihren Mitgliedern erhaltenen Resultate bekannt gegeben[3]). Da die betreffende Schrift für die weitere Entwicklung der Experimentalphysik von großer Bedeutung gewesen ist, so soll hier einiges daraus mitgeteilt werden.

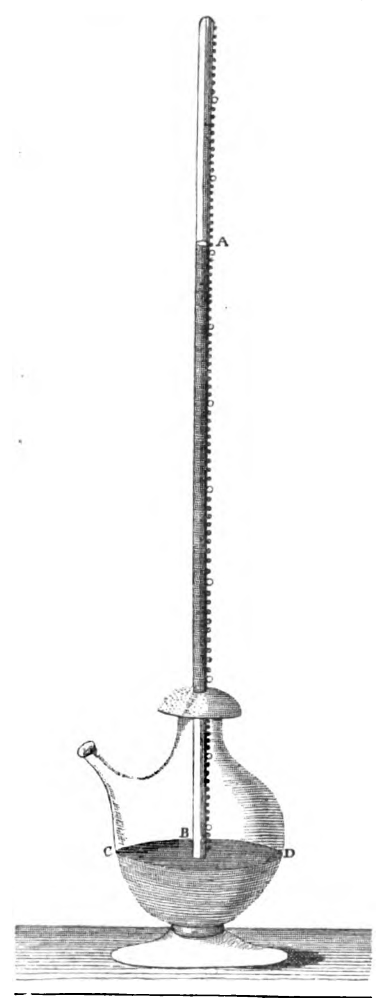



Fig. 17. Das in den Abhandlungen der Accademia del Cimento dargestellte Gefäßbarometer (Musschenbroek, Tentamina experimentorum captorum in Accademia del Cimento. MDCCLVI. Tab. IX. Fig. 3).

1) Akademie des Versuchs.

2) Die Gründung der Akademie erfolgte am 19. Juni 1657, während die Auflösung im Jahre 1667 stattfand.

3) In den Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del Cimento, Florenz, 1667. Im Jahre 1731 wurden die „Saggi" in lateinischer Übersetzung von Musschenbroek herausgegeben: Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento.

Zunächst reproduzieren wir in beistehender Figur 17 ein Gefäfsbarometer in der zur Zeit der Akademie gebräuchlichen Form, dessen Graduierung durch Glasknöpfchen bewerkstelligt wurde. Die Mitglieder der Akademie stellten auch das erste wahre Thermometer her. Das von Galilei zum Messen der Temperatur gebrauchte Instrument war nur ein Thermoskop, d. h. es zeigte nur ein Mehr oder Minder von Wärme an. Es bestand nämlich aus einer offenen Kugelröhre, in welcher sich ein Flüssigkeitstropfen auf- und abbewegen konnte. Letzteres geschah, sobald die in der Kugel eingeschlossene Luft erwärmt oder abgekühlt wurde, da dieselbe dementsprechend einen gröfseren oder kleineren Raum einnahm. Gleichzeitig mufste sich aber auch jede Schwankung des Luftdrucks an diesem Instrument bemerkbar machen, welches nach einer Mitteilung Vivianis noch vor dem Jahre 1600 aus Galileis Händen hervorging. Es ist wahrscheinlich, dafs Galilei durch das Studium Herons zu dieser Erfindung angeregt wurde.

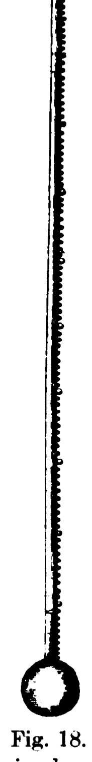


Fig. 18. Das in den Abhandlungen der Accademia del Cimento dargestellte Thermometer (Musschenbroek, Tentamina Tab. I, Fig. 1).

Das Instrument, dessen sich die Accademia del Cimento bei ihren Untersuchungen bediente, war ein wirkliches Thermometer, das vom Wechsel des Luftdrucks nicht merklich beeinflufst wurde (siehe Fig. 18). Als Flüssigkeit, deren Ausdehnung zum Messen der Wärme diente, benutzte man Weingeist. Die Skala besafs zwar hundert Teile, doch waren die Angaben sehr schwankend, da man keine festen, leicht bestimmbaren Punkte zu Grunde legte, sondern für die niedrigste, sowie die höchste in Toskana beobachtete Temperatur gewisse Punkte der Skala festsetzte. Erst nach Auflösung der Akademie brachte eins ihrer Mitglieder[1]) die noch heute gebräuchlichen Fundamentalpunkte, nämlich den Schmelzpunkt und den Siedepunkt des Wassers in Vorschlag.

[1]) Renaldini, Philosophia naturalis 1694 III. 276. Nach Gerland hat Huygens zum erstenmale, und zwar schon 1665, den Vorschlag gemacht, den Schmelzpunkt und den Siedepunkt des Wassers als Fundamentalpunkte zu benutzen (Zeitschrift für Instrumentenkunde XIII. 390. 1893).

Weitere Versuche betrafen die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren und die Zusammendrückbarkeit desselben. Man füllte ein metallenes Gefäfs[1]) mit Wasser, verschlofs dasselbe und brachte es in eine Kältemischung, deren Anwendung zu wissenschaftlichen Zwecken gleichfalls ein Verdienst der Akademie ist. Die Ausdehnung des Wassers bei seiner Umwandlung in Eis erfolgte mit solch unwiderstehlicher Gewalt, dafs das Gefäfs zersprang, ein Experiment, welches bekanntlich in das Repertoire der Vorlesungsversuche des heutigen Physikunterrichts übergegangen ist.

An den Nachweis, dafs das Wasser sich auszudehnen vermag, mufste sich naturgemäfs die Frage knüpfen, ob diese Flüssigkeit auch zusammengedrückt werden kann. Um darüber eine Entscheidung herbeizuführen, schlofs man Wasser in eine silberne Kugel ein und suchte deren Form durch Pressen und Hämmern zu verändern[2]). Dabei trat ganz wider Erwarten die Erscheinung ein, dafs die Kugel sich mit Wassertröpfchen bedeckte. Man hatte auf diese Weise zwar nicht die vermutete Zusammendrückbarkeit nachgewiesen, wohl aber erkannt, dafs die Porosität eine allgemeine Eigenschaft der Materie ist, die sich selbst auf die Metalle erstreckt.

Die angeführten Versuche mögen genügen, um einen Begriff von dem Wirken und der Bedeutung der Akademie zu geben, welche das Vorbild der später in Paris, London, Berlin und anderen Hauptstädten ins Leben tretenden Vereinigungen dieser Art gewesen ist. Nicht nur in Italien, sondern auch in den übrigen Kulturländern hatte das induktive Verfahren Wurzel geschlagen. Teils unabhängig von Galilei und seiner Schule, teils angeregt von dieser entstand eine stetig wachsende Schar von Forschern, welche die Unfruchtbarkeit der alten Methode erkannten und mit vereinten Kräften die Naturwissenschaften in das neue Fahrwasser hinüberzulenken strebten.

Während in Italien diese Wissenschaften durch das Verhalten der in mittelalterlicher Denkweise beharrenden Kreise wenn auch nicht unterdrückt, so doch in hohem Grade gehemmt wurden, erwies sich im Verlauf des 17. Jahrhunderts der Boden Englands und Deutschlands für ihre Entwicklung günstiger. In diesen Ländern waren durch die Reformation die Fesseln des blinden Autoritätsglaubens gesprengt worden. Zwar wurde diese Bewegung bald durch neue Schranken eingedämmt; eine tiefgehende

[1]) Abschnitt III der „Saggi“.
[2]) Abschnitt VI der „Saggi“.



Wirkung blieb aber dennoch nicht aus und trat zumal in den Geisteserzeugnissen jener Zeit zu Tage.

In England ging dieser Befreiung seit dem Zeitalter Elisabeths auch eine Neugestaltung der gesamten Lebensverhältnisse, sowie eine Ausdehnung des Gesichtskreises und des Machtbereiches parallel, welche eine in diesem Lande nie vorher in solchem Maſse gekannte Entfaltung aller Kräfte zur Folge hatten. Hier war es, wo damals das stolze Wort „Wissen ist Macht“ [1]) erklang, und daſs dies Wort seitdem gewürdigt wurde, ist eine der Ursachen von Englands Emporblühen gewesen.

Die bedeutendste Erscheinung, welche uns zu Beginn der neueren Periode auf dem Boden Englands begegnet, ist William Gilbert (1540—1603). Ihm verdanken wir die erste wissenschaftliche Behandlung der elektrischen und magnetischen Phänomene. Das Ergebnis seiner Untersuchungen hat Gilbert in dem Werke „über den Magneten“ niedergelegt, mit dem der Leser durch die Lektüre des I. Bandes [2]) bereits vertraut geworden ist.

Bisher kannte man die elektrische Anziehung wohl nur am Bernstein. Durch Versuche, über welche Gilbert in den letzten Abschnitten des im I. Bande wiedergegebenen Auszugs berichtet, wurde jetzt bewiesen, daſs sich diese Kraft auf alle festen Substanzen und sogar auf Flüssigkeiten erstreckt. Tropfen, welchen Gilbert elektrisierte Körper näherte, erhoben sich auf ihrer Unterlage. Die Einwirkung der Elektricität auf Metalle stellte er fest, indem er diese in der Form leichtbeweglicher Nadeln anwandte und zeigte, daſs sie von elektrisierten Körpern angezogen werden. Daſs zwischen den letzteren auch eine Abstoſsung stattfindet, ist von Gilbert übersehen worden. Ganz unbekannt blieb ihm die elektrische Abstoſsung jedoch nicht, da er die Beobachtung machte, daſs die Flamme sich von einem elektrisierten Körper fortbewegt.

Von den elektrischen Erscheinungen wuſste Gilbert die magnetischen scharf zu trennen, während vor seiner Zeit in dieser Hinsicht manche Verwirrung geherrscht hatte. Die magnetischen Erscheinungen waren infolge der Verwendung, welche die Boussole seit dem 12. Jahrhundert in Europa erfuhr, weit mehr als die elektrischen beachtet worden. So konnte die als Deklination bezeichnete Abweichung der Nadel aus der Nord-Südrichtung

[1]) Ein Ausspruch Bacons: „Scientia est potentia.“

[2]) Gilbert, De magnete magneticisque corporibus et magno magnete tellure, London 1600. Siehe Bd. I, Seite 40.



einem aufmerksamen Beobachter nicht wohl entgehen. Columbus hatte dann die Änderungen der Deklination auf seiner Reise gen Westen entdeckt und war sogar auf die Idee gekommen, dieselben als ein Mittel zur Bestimmung der geographischen Länge zu benutzen. Die Neigung der um eine horizontale Achse drehbaren Magnetnadel war gleichfalls bereits bekannt geworden. Gilbert selbst teilt mit, dafs ihre Gröfse im Jahre 1576 für London gleich 71° 50′ gefunden worden sei[1]).

Gilberts wesentlichstes Verdienst bestand nun darin, dafs er, alle erdmagnetischen Erscheinungen unter einem Gesichtspunkt vereinigend, die Erdkugel für einen einzigen grofsen Magneten erklärte. Zu dieser Auffassung gelangte er, indem er das Verhalten der Magnetnadel gegen einen kugelförmigen Magneten eingehend untersuchte und es mit dem Verhalten der Nadel gegen die Erde verglich (siehe die im I. Bande, Seite 41—42 von Gilbert beschriebenen Versuche mit seiner Terella). Daraus, dafs die Nadel sich an den Polen eines kugelförmigen Magneten senkrecht zur Oberfläche einstellt (siehe Fig. 19), schlofs er, dafs die Inklination in den nördlichen Teilen der Erde gröfser sein müsse als in London, eine Vermutung, welche später durch Hudson während seiner Entdeckungsreisen in den polaren Gegenden Amerikas bestätigt wurde. Hudson fand nämlich im Jahre 1608 schon unter dem 75 Grad nördlicher Breite eine nahezu senkrechte Einstellung der Inklinationsnadel (89° 30′). Dies war der Annahme Gilberts nicht ganz entsprechend, da derselbe der Meinung war, der magnetische Nordpol müsse mit dem geographischen zusammenfallen, wie er

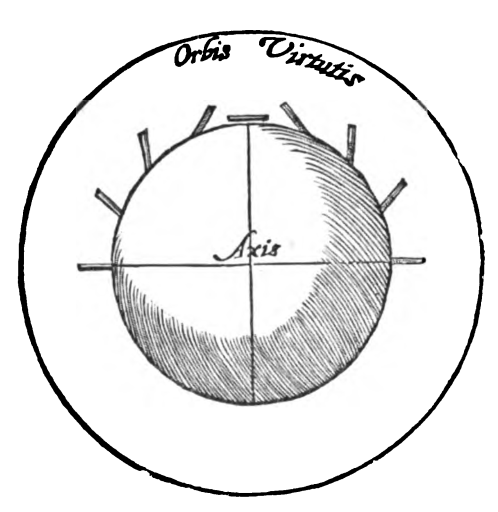



Fig. 19. Gilbert untersucht die Stellung eines kleineren Magneten zu seiner Terella (Gilbert. De magnete. lib. II. cap. VI).

[1]) Gilbert, De magnete. I. 1. Diese Messung rührt von Robert Norman her. Die erste jedoch mangelhafte Beobachtung der Inklination erfolgte im Jahre 1544 durch den Deutschen Georg Hartmann.

auch die tägliche Drehung der Erde als eine Folge des Erdmagnetismus auffafste. Galilei, der Gilbert schätzte und seine Resultate im wesentlichen gelten liefs, wies jedoch die Ansicht, dafs jede freischwebende, magnetische Kugel sich um ihre Achse drehen müsse, als irrtümlich zurück.

Von dem Nachweis, dafs die Erde ein kugelförmiger Magnet ist, war es nur ein Schritt bis zu dem Glauben, dafs auch die übrigen Weltkörper, insbesondere der Mond und die Sonne[1]), mit magnetischer Kraft begabt seien. Gilbert, als erklärter Anhänger des Kopernikanischen Systems, zögerte nicht, diesen Schlufs zu ziehen und die Bewegung der Weltkörper, sowie die Erscheinung der Ebbe und Flut auf einen solchen Grund zurückzuführen. Hierin folgte ihm auch Keppler, dessen Ansichten über die magnetische Kraft der Sonne wir weiter unten kennen lernen werden.

Da Gilbert die geographischen Pole mit den magnetischen zusammenfallen liefs, bedurfte die Erscheinung der Deklination einer besonderen Erklärung. Gilbert, dem noch wenig Beobachtungsmaterial zur Verfügung stand, hielt die Verteilung von Wasser und Land für die Ursache jener Abweichung der Nadel. Seiner Meinung nach mufste im Innern gröfserer Kontinente, wo der Einflufs des Meeres aufhörte, auch die Deklination verschwinden. Die wenigen Beobachtungen, welche die Seefahrer damals gesammelt hatten, waren geeignet, diese irrige Ansicht zu unterstützen.

Es ist begreiflich, dafs Gilbert noch nicht imstande war, eine genügende Deutung des von ihm experimentell Erforschten zu geben. Die elektrischen Erscheinungen führte er in ähnlicher Weise, wie es schon das Altertum versucht hatte, auf Ausflüsse zurück; denn, so sagt er, die Materie kann keine Wirkung ausüben, ohne dafs Berührung stattfindet. Wie man die Luft als einen Ausflufs der Erde betrachten müsse, so beruhe die Elektrisierbarkeit der Körper darauf, dafs eine gewisse feinste Flüssigkeit, welche erforderlich sei, um den Zusammenhang der Körper zu bewirken, infolge der Reibung aus denselben ausgetrieben werde. Dieses Fluidum sollte die elektrische Anziehung leichter Körper vermitteln, ebenso wie nach Gilberts Ansicht die Luft es ist, welche die ihrer Unterstützung beraubten Körper veranlafst, sich dem Mittelpunkt der Erde zu nähern. Diese Idee von einer oder mehreren Flüssigkeiten als Träger der elektrischen Erscheinungen, welche uns bei Gilbert schon im Keime begegnet, wurde vom

1) Gilbert, De magnete, II, Kap. IV.



18. Jahrhundert, das sich in hervorragendem Mafse der Erforschung der Reibungselektricität zuwandte, festgehalten und zu einer wissenschaftlichen Theorie fortentwickelt.

Auf eine mechanische Erklärung der magnetischen Erscheinungen verzichtet Gilbert; er hält sie für die Folge einer Beseelung der Materie. Da er die Bewegung der Weltkörper auf den Magnetismus zurückführt, bleibt ihm auch nichts anderes übrig. Jenseits der Ausflüsse befindet sich der leere Raum, das Vakuum, durch welches hindurch unmöglich eine materielle Einwirkung stattfinden kann. Diese Überlegung bewog Gilbert — und auch hierin folgte dem Physiker der Astronom Keppler — in den Weltkörpern eine seelische, übernatürliche Kraft anzunehmen. Das grofse Rätsel von der Wirkung der Materie in die Ferne begegnet uns also schon hier an der Schwelle der neueren Naturwissenschaft.



Fig. 20. Gilberts Versuche mit armierten Magneten (Gilbert, De magnete. cap. XX).

Mängel, welche theoretischen Vorstellungen anhaften, beeinträchtigen aber in keiner Weise den Wert experimentell gewonnener Resultate, und diese sind es, welche die Wissenschaft Gilbert in reichem Mafse verdankt. Er hat wie Galilei der Forschung den rechten Weg gewiesen. Hervorgehoben seien noch Gilberts Versuche mit bewaffneten oder armierten Magneten, welche er dadurch herstellte, dafs er die Pole eines natürlichen Magneten mit Eisenkappen bedeckte (siehe Fig. 20). Es zeigte sich, dafs die Tragkraft, über welche Gilbert vergleichende Messungen anstellte, durch eine derartige Armierung bedeutend zunimmt. So trug ein Magnet vor der Armierung 2 und nach derselben 12 Unzen Eisen. Die Abbildung zeigt uns einen derartigen Magneten, welcher zwei andere von gleicher Gröfse trägt.

In ganz anderer Weise wie Gilbert machte sich zur selben Zeit der Engländer Francis Bacon (1561—1626) um die Herbeiführung desjenigen Aufschwungs verdient, welcher auf dem Gebiete der Naturwissenschaften mit dem Beginn des 17. Jahrhunderts zum vollen Durchbruch kam. Hatte Gilbert gleich Galilei aufbauend und durch die That geschaffen, so

wirkte Bacon mehr zerstörend und durch das Wort. Er war es, der die damalige geistige Atmosphäre von jenen Trübungen reinigen half, die ihr aus der aristotelisch-scholatischen Periode noch anhafteten. Dabei unterstützt ihn eine klare und gefällige Ausdrucksweise. Mit beredten Worten kämpft er in seinem Hauptwerk, dem neuen Organon[1]), mit welchem der Leser bereits durch den I. Band bekannt geworden ist, gegen alles, was die Menschheit von der Ausübung des induktiven Verfahrens bisher zurückgehalten hatte. Trotzdem würde es verkehrt sein, Bacon für einen Naturforscher oder gar, wie es auch wohl geschehen ist, für den eigentlichen Begründer, den geistigen Urheber der neueren Naturwissenschaft zu halten. Das, was er als neues Evangelium verkündet, war durch Galilei, Gilbert und andere längst Wirklichkeit geworden. In allen Ländern regte sich ein neuer, dem experimentellen Verfahren zugewandter Geist. Bacons Verdienst ist es, dafs er diesen in einer klaren, oft prophetischen Weise zum Ausdruck bringt. Wir dürfen ihn also nicht als den Erfinder, wohl aber als einen beredten Verkünder der induktiven Forschungsweise bezeichnen.

Francis Bacon wurde am 22. Januar 1561 in London geboren und bekundete frühzeitig eine hervorragende Begabung. Mit 13 Jahren bezieht er die Universität, mit 16 veröffentlicht er seine erste Schrift, in welcher er bereits sein Lebenswerk, den Kampf gegen die scholastische Philosophie, aufnimmt. Von Beruf war Bacon Jurist. Eine glänzende Beredsamkeit vereinigt mit einem oft allzu geschmeidigen Wesen unterstützten sein ehrgeiziges Streben. Sprach er, so hatte er seine Zuhörer so in der Gewalt, dafs jeder fürchtete, er möchte schon am Ende angekommen sein. Staffel auf Staffel erklimmend, dabei wenig wählerisch in seinen Mitteln, gelangte Bacon schliefslich zur höchsten Würde, indem ihn der König zum Grofskanzler und zum Baron von Verulam erhob. Dies geschah zu einer Zeit, als sich in England die Anzeichen bevorstehender politischer Umwälzungen immer mehr geltend machten und der Widerstand des Parlamentes gegen die Krone und deren Vertreter in stetem Wachsen begriffen war. Eins der ersten, indes nicht schuldlosen Opfer dieses Konfliktes ist Bacon geworden. Er wurde vom Parlament der Bestechlichkeit überführt und darauf vom Hause der Lords zum Verlust seiner Ämter verurteilt. Dies

[1]) Bacon, Novum organon. 1620. Übersetzt und erläutert von J. H. v. Kirchmann, Berlin 1870. Siehe Bd. I, Seite 49.



geschah im Jahre 1621. Den Rest seines Lebens verbrachte er in der Zurückgezogenheit mit der Abfassung wissenschaftlicher Werke beschäftigt. Trotzdem Bacon auf Experimente drang und lehrte, dafs alle Philosophie von der sinnlichen Erfahrung ausgehen müsse, hat er selbst kaum einen Versuch von Bedeutung angestellt. Sein mathematisches und physikalisches Wissen war selbst für seine Zeit gering. Er kannte zwar die Werke Galileis und Gilberts, hatte jedoch zum eingehenderen Studium derselben offenbar keine Mufse gefunden. So blieb er auch Zeit seines Lebens ein Gegner des Kopernikanischen Systems. Ebenso fanden die klaren Anschauungen über Mechanik, zu denen sich Galilei und geistesverwandte Forscher durchgerungen, keinen Eingang in den Geist Bacons. Auf diesem Gebiete blieb er gänzlich in den Fesseln der Scholastik, welche er im übrigen bekämpfte. Man höre nur seine Ausführungen über die Bewegung des Zitterns. „Dieselbe“, heifst es[1]), „ist die einer ewigen Gefangenschaft, in welcher die Körper nicht ihrer Natur entsprechend gestellt sind, aber sich auch nicht ganz schlecht befinden und deshalb sich hin- und herbewegen, weil sie weder mit ihrem Stand zufrieden sind, noch es wagen, weiter vorzuschreiten.“ Als eine Bewegung solcher Art fafst er z. B. diejenige des Herzens auf. Ja, er kennt sogar eine „Bewegung aus Abscheu vor Bewegung“. Dafs er an den aristotelischen Gegensatz der Leichtigkeit und Schwere festhielt und z. B. zu untersuchen empfiehlt, ob die Luft ein leichter oder ein schwerer Körper sei, darf uns demgegenüber nicht Wunder nehmen.

Trotz seines Unvermögens eigenes in der von ihm gewollten Richtung zu vollbringen, ist Bacons Einflufs nicht zu unterschätzen. Die Lektüre seiner Werke hat manche tüchtige Kraft ermuntert, sich in den Dienst der grofsen von Bacon in den Vordergrund gerückten Aufgabe zu stellen, der Aufgabe nämlich, die wahre Herrschaft des Menschen dadurch zu begründen, dafs derselbe sich zum Herren der Naturkräfte mache. In der Philosophie ist Bacon der Urheber derjenigen Richtung, welche die Möglichkeit der Erkenntnis voraussetzend von der Erfahrung ausgeht und als Realismus bezeichnet wird. Auch auf die Pädagogik hat sich sein Einflufs erstreckt. Comenius, der Vater der neueren Pädagogik, wurde in erster Linie durch ihn veranlafst, das gröfste Gewicht auf die Anschauung zu legen. „Warum,“ so sagt Comenius, „sollen wir nicht statt fremder Bücher das

[1]) Novum organum scientiarum. Lugd. Bat. 1645. Kap. 48 Seite 366.



lebendige Buch der Natur aufschlagen. Fast niemand lehrt Physik durch Anschauung und Experiment. Alle unterrichten durch mündlichen Vortrag des aristotelischen Werkes oder eines anderen."

Neben Italien und England war es vor allem Deutschland, das an der Neubegründung der Naturwissenschaft lebhaften Anteil nahm. Hier war das Kopernikanische System entstanden, von hier aus hatte die Reformationsbewegung einen grofsen Teil der europäischen Menschheit ergriffen. Zwar drohte die befreiende Kraft, welche dieser Bewegung innewohnte, unter neuen starren Formen, sowie in endlosen Religionskämpfen zu ersticken. Die evangelische Hierarchie war nicht weniger darauf bedacht, die Lehrfreiheit in ängstlicher Weise zu beschränken, wie es in Italien durch den katholischen Klerus geschah. Ebenso wenig wie in diesem Lande hätte es an deutschen Hochschulen ein Gelehrter wagen dürfen, sich rückhaltlos zur Kopernikanischen Weltanschauung zu bekennen. Dazu kam in protestantischen Ländern eine solch weitgehende Rivalität gegen den Katholizismus, dafs selbst vernünftige Reformen, wenn sie von Rom ausgingen, zurückgewiesen wurden. So erging es z. B. der von Gregor XIII. im Jahre 1582 ins Leben gerufenen Reform des Kalenders. Bis dahin hatte die Christenheit mit dem julianischen Jahr von 365¼ Tagen gerechnet, obgleich schon Hipparch und Ptolemäos wufsten, dafs die Dauer des tropischen Jahres geringer ist. Alle Bemühungen, den stetig wachsenden Fehler des Kalenders zu beseitigen, an denen z. B. auch Kopernikus lebhaften Anteil genommen, waren vergeblich geblieben. Dieser Fehler belief sich zur Zeit Gregors auf 10 Tage. Er wurde dadurch ausgemerzt, dafs man die Tage vom 5. bis zum 14. Oktober des Jahres 1582 ausfallen liefs und anordnete, dafs in Zukunft die Säkularjahre, sofern sie nicht durch 400 teilbar sind, gewöhnliche Jahre bleiben sollten[1]).

Die allgemeine Annahme des Gregorianischen Kalenders wurde besonders durch Keppler befürwortet, welcher als Begleiter des Kaisers auf dem Reichstag zu Regensburg erschien. Die protestantischen Stände betrachteten jedoch die Frage als eine Religionssache und lehnten jeden Vermittlungsvorschlag ab. Volle hundert Jahre dauerte es, bis der Verwirrung ein Ende bereitet wurde und Dank den Bemühungen eines Leibniz die Reform in den protestantischen Teilen Deutschlands Eingang fand.

---

1) Der Gregorianische Kalender schaltet somit in 400 Jahren 97 Tage ein; sein Fehler beträgt für diesen Zeitraum nur 0.122 Tage.



Wie bezüglich der Kalenderreform und des Kopernikanischen Systems, so übte damals in allen Fragen eine noch nicht hinlänglich geläuterte Religiosität einen bestimmenden Einfluſs aus. Indem sie sich auch mit politischen Interessen verquickte und den Antagonismus des alten und des neuen Bekenntnisses in Kriegen und Verfolgungen zum Ausdruck brachte, wie sie die Menschheit blutiger und zerstörender bisher kaum gesehen, verlieh diese auf Irrwegen befindliche Religiosität dem 17. Jahrhundert sein eigentümliches Gepräge. Bevor jedoch in Deutschland der dreiſsigjährige und in England der Bürgerkrieg entfesselt wurden, Begebenheiten, welche in der Entwicklung dieser Länder einen lang dauernden Stillstand herbeigeführt und viele Keime in ihrem Ansatz zerstört haben, hatte der wissenschaftliche Geist dort schon in solchem Maſse Wurzel geschlagen, daſs er wohl gehemmt, nicht aber wieder vernichtet werden konnte. Während des gesamten 16. Jahrhunderts lief diese Entwicklung zumal in Deutschland darauf hinaus, die scholastisch-aristotelische Denkweise zurückzudrängen und zunächst das humanistisch-philologische, dann aber auch daneben das naturwissenschaftliche Element an deren Stelle zu setzen. Zwar blieb das Denken der groſsen Masse dem Gesetz der Trägheit zufolge, das auch in der intellektuellen Sphäre seine Geltung hat, zunächst noch in den alten Banden befangen. Indes nahm während der Generationen, welche dem deutschen Religionskriege vorangingen, die Zahl der selbständig denkenden Männer stetig zu. Gleichzeitig erlebten Kunst, Gewerbfleiſs und Handel eine Periode des Aufschwungs und wirkten befruchtend auf viele Gebiete der Wissenschaft.

Einen Beweis, welches Ansehen Aristoteles trotzdem noch immer genoſs, bietet die Geschichte der Entdeckung der Sonnenflecken. Als nämlich im Jahre 1611 der aus Schwaben gebürtige Jesuit Scheiner dieselben fast gleichzeitig mit Fabricius und Galilei auffand, wies sein geistlicher Vorgesetzter darauf hin, daſs es sich hier nur um Fehler der Gläser oder der Augen handeln könne, da er den Aristoteles zweimal durchgelesen und nichts von derartigen Dingen gefunden habe. Scheiner lieſs sich jedoch durch dieses Urteil nicht beeinflussen. Er stellte etwa 2000 Beobachtungen über die Sonne in einem Werke zusammen[1]) und dehnte seine Forschungen mit Erfolg auf die Natur

[1]) Rosa ursina sive sol ex admirando facularum et macularum suarum phaenomeno varius. 1630.



des Sehens und die Beschaffenheit des Auges aus. So bewies er die Ähnlichkeit des letzteren mit der Camera obscura durch folgenden Versuch. An der hinteren Wand eines Ochsenauges wurden die Häute bis auf die durchscheinende Netzhaut entfernt und eine Kerze in einiger Entfernung vor demselben angebracht. Das umgekehrte Bild der Flamme erschien dann auf der Netzhaut und konnte von einem Standpunkt hinter dem dergestalt präparierten Auge wahrgenommen werden[1]). Später stellte Scheiner den gleichen Versuch mit demselben Ergebnis am menschlichen Auge an.

In derselben Zeit, als Galilei den Triumphzug seiner astronomischen Entdeckungen begann, richtete ein zweiter Deutscher, Johann Fabricius das kurz zuvor in Holland erfundene Teleskop auf den Himmel. Diesem Fabricius gebührt die Priorität der Entdeckung der Sonnenflecken, um welche zwischen Galilei und Scheiner mit so grofser Heftigkeit gestritten, wurde[2]). In einer 1611 erschienenen Schrift[3]) berichtet Fabricius über seine Beobachtung mit folgenden Worten: „Als ich den Rand der Sonne aufmerksam betrachtete, zeigte sich mir unerwartet ein schwärzlicher Fleck. Zuerst glaubte ich, es sei eine vorüberziehende Wolke. Am folgenden Morgen erschien aber beim ersten Anblick der Fleck wieder, indes schien er seine Stelle ein wenig verändert zu haben. Darauf herrschte drei Tage trübes Wetter. Als wir wieder heiteren Himmel bekamen, war der Fleck von Ost nach West gerückt, und kleinere waren an seine Stelle getreten. Darauf entzog sich der grofse Fleck am entgegengesetzten Rande nach und nach den Blicken. Dafs den kleineren dasselbe bevorstand, sah man aus ihrer Bewegung. Eine unbestimmte Hoffnung liefs mich die Wiederkunft der Flecken erwarten, und in der That, nach 10 Tagen begann der gröfsere Fleck am östlichen Rande von neuem hervorzutreten.

Als Grund dieser eigentümlichen Erscheinung gab es zwei Möglichkeiten, welche beide eingehend diskutiert wurden. Entweder gehörten die Flecken dem Sonnenkörper an, und diese Ansicht vertrat von vorn herein Fabricius; oder man hatte es mit dunklen, die Sonne umkreisenden Körpern zu thun, eine Annahme,

---

1) Scheiner. Oculus, hoc est fundamentum opticum. 1619.

2) Gerhard Berthold, Der Magister Johann Fabricius und die Sonnenflecken. Leipzig. 1894.

3) De maculis in sole observatis. Wittenberg 1611. Ein Neudruck des sehr seltenen lateinischen Originals findet sich in der vorerwähnten Schrift von G. Berthold.

die besonders unter denjenigen Astronomen Anhänger fand, welche die neue Erscheinung mit der aristotelischen Lehre von der Reinheit der Sonne in Einklang zu bringen suchten. Fortgesetzte Beobachtungen verhalfen jedoch der ersten Ansicht zum Siege. Blieb es auch unentschieden, welchen Ursprung die Flecken besitzen, so zögerte man doch nicht, nachdem man sie als Teile der Sonne erkannt hatte, aus ihrer Bewegung auf eine Rotation dieses Weltkörpers zu schliefsen, sowie daraus die Dauer einer Umdrehung und die Lage des Sonnenäquators abzuleiten.

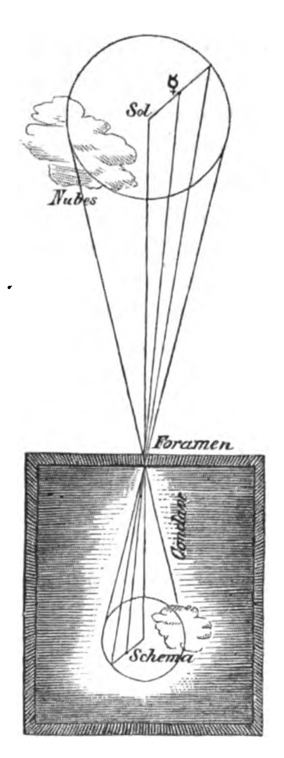



Fig. 21. Keppler erblickt einen Sonnenflecken, den er für den Merkur hält[3]).

Ein gewisses Anrecht auf die Entdeckung der Sonnenflecken besitzt auch der gröfste Astronom dieser Periode, der Deutsche Johannes Keppler, dessen unsterbliches Verdienst um das Eindringen in den Zusammenhang des Naturganzen wir jetzt eingehender zu beleuchten haben. Es war am 28. Mai des Jahres 1607, zu einer Zeit, da das Fernrohr noch nicht erfunden war, als Keppler in sein Tagebuch eine seltsame Beobachtung einzeichnete[1]). Keppler war mit älteren, aus der Zeit Karls des Grofsen stammenden Nachrichten[2]) bekannt geworden, nach welchen man Merkur vor der Sonne als kleinen, schwarzen Fleck gesehen haben wollte. Um diese Nachricht auf ihre Wahrscheinlichkeit zu prüfen, verfuhr Keppler an dem gedachten Tage, an welchem Sonne und Merkur in Konjunktion standen, folgendermafsen. Er liefs die Sonnenstrahlen durch eine enge Öffnung in ein verdunkeltes Zimmer treten und fing das hierbei entstehende Bild der Sonne vermittelst eines Papierschirmes auf (siehe Fig. 21). Dieses Sonnenbild zeigte zur grofsen Überraschung und Freude

1) Joannis Keppleri Phaenomenon singulare seu Mercurius in sole. Leipzig 1609. (Opera omnia, ed. Frisch. II, 793.)

2) In Einhards Vita Caroli Magni (herausgegeben von Jaffé 1876) wird berichtet, der Merkur sei im April des Jahres 807 „quasi parva macula nigra“ vor der Sonnenscheibe gesehen worden.

3) Opera omnia. II. Seite 805.

Kepplers einen kleinen verwaschenen wie ein leichtes Wölkchen erscheinenden Fleck, den er für Merkur hielt.

Ohne Zweifel hat es sich in diesem wie in jenem älteren Falle um Sonnenflecken gehandelt, da Merkur, wie spätere Rechnungen ergeben haben, am genannten Tage sich nicht mehr vor der Sonnenscheibe befand, und auch zu klein ist, um bei einer Konjunktion sich in der gedachten Weise bemerklich zu machen.

In dem Kopfe eines Deutschen war das neue Weltsystem entstanden, durch deutsche Geistesarbeit sollte es auch seinen Ausbau erfahren und auf den Boden unzweifelhafter Gewifsheit erhoben werden. Zu dieser Grofsthat ersten Ranges war Johannes Keppler berufen, eine der bedeutendsten Erscheinungen, welche Deutschland im 17. Jahrhundert auf dem Gebiete des geistigen Lebens hervorgebracht hat. Dies rechtfertigt es, bevor wir uns den Forschungen Kepplers zuwenden, seinen Lebensgang zu verfolgen, der zugleich ein Stück Kulturgeschichte entrollt. Die ganze Erbärmlichkeit seiner Zeit mufste der grofse Mann durchkosten, sodafs später über ihn mit vollem Recht die Dichterworte erklingen konnten[1]):

Kühn zum Himmel gekehrt, trotz irdischen Jammers Umstrickung,
Mifst durchdringend Dein Blick leuchtenden Welten die Bahn.
Mit der Fackel des Geistes erhell'st Du der ew'gen Gesetze Schrift,
Doch auf Erden schwingt Unsinn den tödlichen Brand.

Johannes Keppler erblickte am 27. Dezember 1571 in dem württembergischen Städtchen Weil das Licht der Welt. Schon im zartesten Alter beginnt jene Kette von Widerwärtigkeiten, welche sich durch sein ganzes Leben hindurch fortsetzen sollte. Sein schwächlicher Körper wird wiederholt von schweren Krankheiten heimgesucht. Im Elternhause herrscht ehelicher Zwist. Der Vater nimmt Kriegsdienste. Zurückgekehrt verliert er durch eine übernommene Bürgschaft seine geringe Habe. Er zieht darauf von neuem hinaus und fällt im Kampfe gegen die Türken. Nach einer freudlos verlebten Jugend wurde der junge Keppler, da er geistige Fähigkeiten aufwies und seines schwächlichen Körpers wegen zur Erfüllung eines praktischen Berufes untauglich zu sein schien, zum geistlichen Stande bestimmt und zunächst in die Klosterschule zu Maulbronn und darauf in das theologische Stift zu Tübingen geschickt.

„Was aus dem Gebiete der Geometrie und der Astronomie

---

[1]) Breitschwerdt, J. Kepplers Leben und Wirken. 1831. Seite 178.



in den Schulen vorkam“, schrieb Keppler später[1]), „begriff ich ohne Schwierigkeit. Ich wurde auf Kosten des Herzogs von Württemberg unterhalten. Meinen Fortgang in der Gelehrsamkeit zeigte mein Mysterium cosmographicum.“ Es ist dies Kepplers im Jahre 1596 erschienenes astronomisches Erstlingswerk, das uns nach seinem Inhalt und seiner Bedeutung später noch beschäftigen wird.

Die Anregung zum mathematischen und astronomischen Studium empfing Keppler durch den in Tübingen lehrenden Mästlin. Zwischen beiden Männern entwickelte sich ein enges Freundschaftsbündnis, das bis zu ihrem fast zur selben Zeit erfolgten Tode fortbestand. In dem Mafse, wie Kepplers Interesse für die Astronomie wuchs, wurde er der damals herrschenden Theologie entfremdet. Diese war nämlich im evangelischen Württemberg zu einer Orthodoxie erstarrt, welche jede freie Geistesregung hemmte und in Dogmen zum Ausdruck kam, die in das wahrhaft religiöse Gemüt Kepplers keinen Eingang fanden. Als Keppler sich dazu noch als ein Anhänger der Kopernikanischen Lehre bekannte, war es um seine theologische Laufbahn geschehen. Er wurde von seiner Fakultät als ungeeignet für den Kirchendienst bezeichnet und konnte von Glück sagen, dafs er durch Mästlins Vermittlung eine Lehrstelle in Graz erhielt. Hier mufste er Mathematik, Virgil und Rhetorik vortragen, sowie den Kalender schreiben, wobei die Voraussage des Wetters und der politischen Ereignisse von besonderer Wichtigkeit war. Mit welch schwerem Herzen mag der so aufrichtige, gerade Mann oft dies Geschäft erledigt haben, das er selbst als die „eitelste, aber notwendige Amtsarbeit“ bezeichnete. „Mutter Astronomie müfste gewifslich Hunger leiden“, sagt er ein anderes Mal, „wenn die Tochter Astrologie nicht das Brot erwürbe.“ In welchem Sinne übrigens Keppler dennoch eine Einwirkung kosmischer Vorgänge auf den Verlauf irdischer Erscheinungen für möglich hielt, ersieht man aus dem Schlufskapitel seines „ausführlichen Berichtes über den im Jahre 1607 erschienenen Kometen und dessen Bedeutung“[2]). Es wird darin eine Art Sympathie der die Erde und den Menschen beherrschenden Kräfte mit dem Himmel zugegeben. Die Folge davon seien gewisse Rückwirkungen, welche einträten, wenn im Weltraum sich etwas Seltsames ereigne. Den abergläubischen Hang jener Zeiten zur Stern-

[1]) Kästner, Geschichte der Mathematik. IV, 247.
[2]) Siehe Bd. I, Seite 45.

deuterei hat Keppler, wie aus vielen seiner Äufserungen hervorgeht, also nicht geteilt. Sind es doch gerade seine Forschungen gewesen, welche der Astrologie den Boden entzogen haben. „Die sogenannten Irrsterne", sagt einer seiner Biographen[1]), „welche durch ihre Bewegungen die Schicksale bestimmen sollten, irrten nun nicht mehr, und die mystische Deutung, welche die Astrologie diesem Umherschweifen gab, verlor jeden Anhaltspunkt."

Trotzdem war Keppler, wenn er als Astronom sein Brot verdienen wollte, zum astrologischen Frohndienst gezwungen. Dieser Umstand brachte ihn auch in Berührung mit zwei historischen Persönlichkeiten seiner Zeit, Kaiser Rudolf II. und Wallenstein, deren Hang zur Astrologie bekannt genug geworden ist. Ein glücklicher Zufall fügte es, dafs die von Keppler seinem ersten Kalender beigefügten Prophezeihungen, nämlich ein strenger Winter und der Ausbruch von Unruhen in Österreich, wirklich eintrafen. Ein Erfolg dieser Art wurde damals nicht nur von der Masse des Volkes, sondern auch von der Mehrzahl der Gebideten höher geschätzt als die Abfassung eines gelehrten Buches.

Die freie Entfaltung der Wissenschaft wurde zu Kepplers Zeit auch durch das Fehlen desjenigen ethischen Momentes, das als akademische Lehrfreiheit bezeichnet wird und auch heute noch immer wieder gegen das Andrängen rückwärts gerichteter Bestrebungen verteidigt werden mufs, in hohem Grade gehemmt. Eine Lehrfreiheit konnte sich nur in solchem Mafse entwickeln, wie der Streit mit Worten und das gegenseitige Ausspielen von Autoritäten durch die greifbaren und logisch verknüpften, durch kein Räsonnement hinwegzuleugnenden Ergebnisse der exakten Forschung zurückgedrängt wurden. Dieser ist es zu danken, dafs im Verlauf der letzten Jahrhunderte das *αὐτὸς ἔφα* auf allen Gebieten der Wissenschaft allmählich verstummte, und eine neue, die Wahrheit kündende Sprache, die Sprache, in welcher die Natur auf die an sie gestellten Fragen Antwort giebt, an dessen Stelle trat.

Zu jener Zeit, die wir kennzeichnen, konnte ein Mästlin von dem akademischen Senat der evangelischen Universität Tübingen trotz seiner besseren Überzeugung gezwungen werden, die Astronomie nach dem System des Ptolemäos zu lehren und gegen den Gregorianischen Kalender zu schreiben. Als er bei diesem Auftrag zauderte, erteilte man ihm einen Verweis. Mästlin mufste sich beugen, wenn er nicht seine Existenz aufs Spiel setzen wollte. Er

---

1) Siehe Breitschwerdt a. a. O. Seite 71.



entledigte sich der aufgezwungenen Arbeit, indem er einige unbedeutende Mängel des neuen Kalenders rügte.

In eine neue Verlegenheit geriet Mästlin, als Keppler ihm von Graz seine Erstlingsarbeit, das Mysterium cosmographicum[1]), übersandte, damit sie in Tübingen im Druck erschiene. Der Senat erhob Einwendungen, weil die dem Werke zu Grunde liegende Lehre von der Bewegung der Erde das Ansehen der heiligen Schrift beeinträchtigen könne. „Was ist zu thun?“ schreibt Keppler darauf an den Freund. „Ich denke, wir ahmen den Pythagoräern nach und teilen uns privatim gegenseitig mit, was wir entdecken. Ich möchte Dir um meinetwillen keine Feinde zuziehen.“ Die Schwierigkeiten wurden aber schliefslich überwunden. Das Werk erschien, und der junge Autor sandte es an Tycho und an Galilei, die bedeutendsten zeitgenössischen Astronomen, zu denen er seitdem in dauernder Beziehung blieb.

Kopernikus hatte für die Abstände der Planeten von der Sonne den verhältnismäfsigen Wert ermittelt. Da man ferner die Umlaufszeiten dieser Körper kannte, so war damit auch das Verhältnis der Geschwindigkeiten gegeben. Der Gedanke nun, welcher Keppler nicht nur in seinem „Mysterium“, sondern auch bei allen späteren Arbeiten beherrschte, gipfelte darin, eine einfache arithmetische oder geometrische Beziehung zwischen den Entfernungen zu finden, sowie eine ähnliche Beziehung zwischen den Entfernungen und den entsprechenden Geschwindigkeiten der Planeten nachzuweisen. Die Lösung des ersten Teiles dieser Aufgabe hat er in seinem „Mysterium“ vergeblich angestrebt, während ihm die Bewältigung des zweiten Problems später nach grofsen Mühen gelang.

Als Keppler seine Schwingen zu regen begann, war die Naturlehre, insbesondere soweit sie auf deutschen Hochschulen gelehrt wurde, von pythagoreischen und platonischen, auf Zahl und Mafs sich gründenden Spekulationen überwuchert. Dieser Geist war es, der auch in Kepplers Erstlingswerk zum Ausdruck kam. Die Zahl der damals bekannten Planeten betrug 6: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn. Den Grund für diese Zahl glaubte Keppler in der Existenz von fünf regulären Körpern zu finden, welche er zwischen die für kreisförmig gehaltenen Planetenbahnen

[1]) Prodomus dissertationum cosmographicarum continens Mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium coelestium a Joanne Keplero. Tübingen. 1596.



einschaltete. Wir wollen ihn dieses sein Mysterium, auf welches er so stolz war, dafs er einmal äufserte, er würde die Ehre dieser Erfindung nicht um den Besitz des Kurfürstentums Sachsen preisgeben, mit eigenen Worten verkünden lassen: „Die Erdbahn liefert den Kreis, der das Mafs aller übrigen bildet. Um diesen Kreis ($\eta$ in Fig. 22) beschreibe ein Dodekaeder. In der Sphäre, welche dieses umschliefst, liegt die Bahn des Mars (♂ in Fig. 22). Um die Marssphäre beschreibe man ein Tetraeder. Eine diesem Körper umschriebene Kugelfläche würde die Bahn des Jupiter enthalten (siehe $\gamma$ in Fig. 23). Letztere umschliefse mit einem Würfel, die umschriebene Sphäre ($\alpha$) enthält die Bahn des Saturn (♄). Ferner errichte innerhalb der irdischen Sphäre ein Ikosaeder; die demselben eingeschriebene Kugelfläche enthält die Bahn der Venus (siehe ♀ in Fig. 22). Beschreibt man innerhalb ihrer Sphäre ein Oktaeder, so umschliefst das letztere die Sphäre des Merkur.“ Man würde also eine Aufeinanderfolge von sechs Kugelflächen erhalten, denen die fünf regulären Körper ein- bezw. umgeschrieben sein würden. Die Rechnung ergab, dafs die Radien jener sechs Sphären ungefähr den von Kopernikus gefundenen Entfernungen der Planeten entsprachen. Die von Kopernikus ermittelten Werte[1]) wichen indes von der Wahrheit mehr oder weniger ab; auch wurde die Voraussetzung, dafs es sich im Planetensystem um Sphären handele, von Keppler selbst durch die mühevolle Arbeit des nachfolgenden Jahrzehnts widerlegt. Das „Mysterium“ blieb daher nichts weiter als ein geistreicher Versuch, dem man jedoch seine Berechtigung keineswegs absprechen darf. Besteht doch die Thätig-

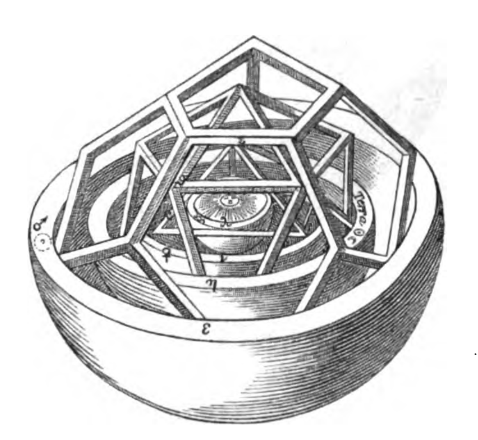



Fig. 22. Kepplers Konstruktion der Planetensphären.

[1]) Die in der Einheit Sonne — Erde ausgedrückten Abstände der Planeten sind nach Kopernikus (und nach neueren Beobachtungen) die folgenden:

| Merkur ☿ | Venus ♀ | Mars ♂ | Jupiter ♃ | Saturn ♄ |
|---|---|---|---|---|
| 0,395 | 0,719 | 1,512 | 5,219 | 9,174 |
| (0,387) | (0,723) | (1,524) | (5,203) | (9,539) |

keit des Forschers, zumal wenn es sich um einen Fortschritt von grundlegender Bedeutung handelt, in der Aufstellung einer neuen Idee und der sich daran anschliefsenden Prüfung, ob das gesamte Thatsachenmaterial sich in den Rahmen dieser Idee einfügen läfst. Galileis Verfahren ist kein anderes. Zunächst entwickelt er z. B. aus dem Begriff der gleichförmig beschleunigten Bewegung alle Umstände derselben und zeigt dann durch den Versuch, dafs frei fallende, sowie über eine geneigte Ebene unter dem Einflufs der Schwerkraft sich bewegende Körper ein Verhalten zeigen, welches der gedachten Bewegung entspricht. Auch unsere heutige Naturwissenschaft besteht in der Vereinigung von Gedankenerzeugnissen, die sich als Systeme, Hypothesen und Theorien darstellen, mit der Summe des zur Zeit bekannten Thatsachenmaterials. Weder die Gebilde einer nicht genügend gestützten Spekulation noch die Erfahrungsthatsachen allein sind Wissenschaft. Letztere geht einzig und allein aus der Verbindung der Idee mit der denkenden Beobachtung hervor. Keppler selbst gesteht einmal, er habe 19 Hypothesen aufgestellt und wieder verworfen, ehe er zu der wahren, den Thatsachen entsprechenden Idee vorgedrungen sei.

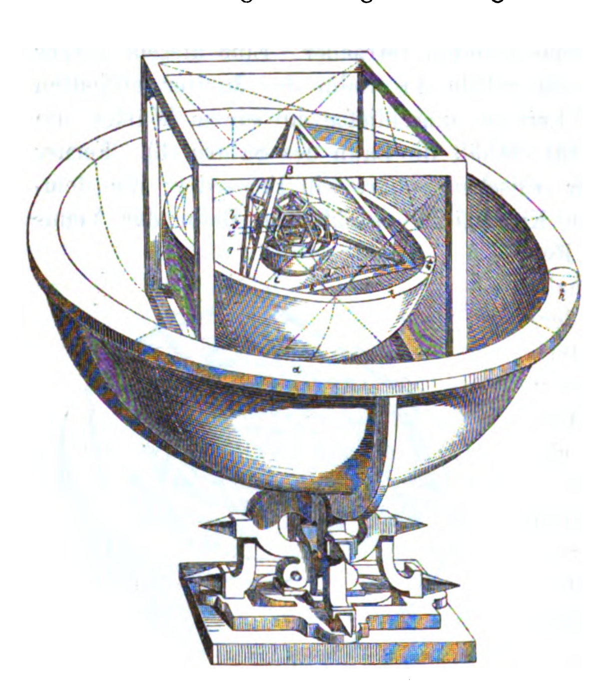


Fig. 23. Kepplers Konstruktion der Planetensphären. Orbium planetarum dimensiones et distantias per quinque regularia corpora geometrica exhibens. $\alpha$ = Sphaera Saturni. $\beta$ = Cubus. $\gamma$ = Sphaera Jovis. $\delta$ = Tetraëder. $\varepsilon$ = Sphaera Martis. $\zeta$ = Dodekaeder. $\eta$ = Orbis Terrae. $\vartheta$ = Ikosaeder. $\iota$ = Sphaera Veneris. $\varkappa$ = Oktaeder. $\lambda$ = Sphaera Mercurii. $\mu$ = Sol. (Fig. 22 und Fig. 23 sind Kepplers Mysterium cosmographicum entnommen; siehe Opera omnia, Band I.)

Kepplers Aufenthalt in Steiermark sollte nicht von langer Dauer sein. Der von den Jesuiten erzogene Erzherzog Ferdinand, der spätere Kaiser Ferdinand II., wurde einige Jahre nach der Veröffentlichung des „Mysterium“ Kepplers Landesherr. Als solcher begann er, getreu seinem bei der heiligen Jungfrau von Loretto geleisteten Schwur, den Protestantismus in seinen Landen mit der Wurzel auszurotten. Wie ein Verbrecher wurde Keppler, der sich in Graz eine glückliche Häuslichkeit gegründet hatte, bei Todesstrafe des Landes verwiesen. Dieses Ereignis, so traurig es für den Betroffenen war, hatte das Gute im Gefolge, dafs es ihn in unmittelbaren Verkehr mit Tycho, den Meister der astronomischen Beobachtungskunst, brachte. Erst dadurch, dafs Keppler das Erbe dieses Mannes antrat, ward er in den Stand gesetzt, seine Lebensaufgabe, welche in der Erforschung der Planetenbewegung bestand, zu erfüllen. Bei dieser Bedeutung Tychos erscheint es unerläfslich, einen Blick auf die Persönlichkeit und die wissenschaftlichen Leistungen desselben zu werfen.

Tycho Brahe[1]) war von schwedischer Herkunft. Er wurde im Jahre 1546 in der Nähe von Helsingborg geboren und entwickelte seit seinem Knabenalter, angeregt durch die Beobachtung einer Sonnenfinsternis und das Studium des Almagest, ein grofses Interesse für die Himmelskunde. Auch der hermetischen Kunst war er zugethan, da er durch alchemistisches Gold die zum Betreiben astronomischer Studien erforderlichen Mittel zu erwerben hoffte.

Als Tycho am Abend des 11. November 1572 sein Laboratorium verliefs und in gewohnter Weise den Blick auf den ihm wohlbekannten Sternenhimmel lenkte, nahm er einen ungewohnten Glanz in dem Sternbilde der Cassiopeja wahr. Anderen Berichten zufolge hatte man diesen Glanz schon am 6. desselben Monats gesehen, während in den ersten Tagen des November in jener Himmelsgegend noch nichts Auffälliges zu bemerken war. Einen Monat später hatte das neue Gestirn an Glanz den Jupiter fast erreicht. Im März des Jahres 1573 erschien es als Stern erster Gröfse; darauf nahm es stetig ab. Im Juli 1573 war es den gröfseren Sternen der Cassiopeja gleich; im Beginn des fol-

[1]) Ein Bild des Lebens und Schaffens Tychos hat neuerdings J. L. E. Dreyer geliefert: Tycho Brahe, ein Bild wissenschaftlichen Lebens und Arbeitens im 16. Jahrhundert. Autorisierte deutsche Übersetzung von M. Bruns. XII, 434 S. Karlsruhe, 1894.



genden Jahres besafs es kaum mehr als 5. Gröfse, um im März 1574 endlich ganz zu verschwinden.

Die astronomische Welt geriet über diese Erscheinung in eine leicht begreifliche Aufregung. Da man der Lehre des Aristoteles zufolge dem Fixsternhimmel ein wandelloses Sein zuschrieb, glaubten die meisten, die erwähnte wunderbare Erscheinung könne nur innerhalb der planetaren Región stattgefunden haben. Daran knüpfte man die unsinnigsten Vermutungen. Nach einigen war das in Frage kommende Gestirn sogar vom Jupiter angesteckt worden. Dem gegenüber wies nun Tycho nach, dafs der neue Stern sich jenseits der äufsersten Planetensphäre befunden haben müsse, da er von weit entfernten Orten stets in derselben Richtung gesehen worden sei. Ein wunderbarer Zufall fügte es, dafs die Erscheinung des plötzlichen Aufleuchtens eines Sternes innerhalb des kurzen Zeitraums von 1572—1604 wiederholt vorkam, wodurch den Astronomen — auch Keppler schrieb darüber — die Wichtigkeit der Aufstellung genauer Fixsternkataloge besonders nahe gelegt ward.

Keine andere Wissenschaft ist in solchem Mafse durch fürstliche Gunst gefördert worden wie die Astronomie. Mag nun das Interesse für den Gegenstand oder der Glaube, dafs in den Sternen das Schicksal geschrieben sei, dabei den Ausschlag gegeben haben. Dies erfuhr auch Tycho. Durch die Gunst seines Königs[1]) ward er in den Stand gesetzt, auf einem zwischen Schonen und Seeland gelegenen Inselchen[2]) eine Sternwarte zu errichten, wie sie die Welt in gleicher Grofsartigkeit bisher noch nicht gesehen. Diese Warte empfing den Namen Uranienborg und blieb 20 Jahre der Schauplatz der wissenschaftlichen Unternehmungen Tychos, um den sich hervorragende Schüler und Mitarbeiter scharten.

Das gröfste Verdienst Tychos bestand darin, dafs er den astronomischen Messungen einen bis dahin nicht gekannten Grad von Genauigkeit verlieh und auf solche Weise die Grundlage für jeden weiteren astronomischen Fortschritt schuf. Um die Rektascension eines Sternes zu finden, hatte man bisher am Tage den Abstand des Mondes von der Sonne bestimmt und in der darauffolgenden Nacht die Stellung des Mondes mit derjenigen des Sternes verglichen. Eine weit gröfsere Sicherheit wurde nun dadurch erreicht, dafs Tycho die Venus, welche auch noch bei Tage sichtbar

[1]) Friedrich II.

[2]) Namens Hven.

ist, zu diesem Zwecke anstatt des seine Stellung rasch ändernden Mondes verwertete. Die Unterschiede der Rektascensionen ver-

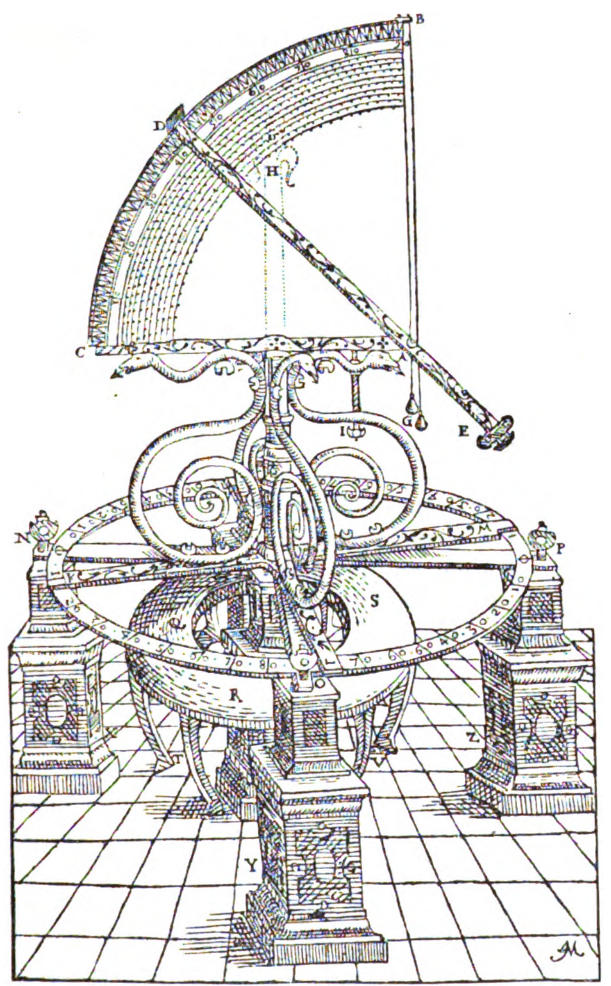



Fig. 24. Tychos Azimutalquadrant, aus dem der heutige Theodolit hervorgegangen ist[1]).

Das aus Messing hergestellte Instrument diente zur Bestimmung des Azimuts und der Höhe. Der Azimutalkreis NP ruhte auf vier Säulen. Der Höhenquadrant besafs fast zwei Ellen Radius und war mit Minuteneinteilung (BC) und Diopterlineal (DE) versehen.

schiedener Sterne ergeben sich bekanntlich aus der Zeit, welche

1) Tychonis Brahe, de mundi aetherei recentioribus phaenomenis. liber secundus. Prag 1603. Figur auf Seite 463.

zwischen ihren Kulminationen verfliefst. Das Augenmerk Tychos war deshalb vor allem auf eine möglichst scharfe Bestimmung des Zeitablaufs gerichtet. So lange man indes wie Tycho auf Sanduhren und auf Räderuhren ohne Pendelvorrichtung angewiesen blieb, war diese wichtige Aufgabe nur unvollkommen gelöst.

Ganz besonders übertraf Tycho alle Vorgänger in der Genauigkeit der Winkelmessung (siehe Fig. 24). Er liefs eine Himmelskugel aus Kupfer anfertigen, welche etwa 1000 Sterne in der von ihm berichtigten Stellung enthielt. Die Meridiane dieser Kugel waren in Minuten eingeteilt. Dementsprechend erforderte ihre Herstellung auch einen Aufwand von 5000 Thalern.

Zur Annahme des Kopernikanischen Weltsystems konnte Tycho sich nicht verstehen, weil ihm wie keinem andern die Schwierigkeiten bekannt waren, welche sich demselben damals noch entgegenstellten. Eine Bewegung, welche im Laufe eines halben Jahres den Ort der Erde um das Doppelte ihrer Entfernung von der Sonne verändern sollte, schlofs Tycho, müsse bei der Genauigkeit seiner Messungen eine entsprechende scheinbare Änderung in der Stellung der Fixsterne hervorrufen. „Eine jährliche Bewegung", schreibt er[1]), „würde die Fixsternsphäre in eine solche Ferne rücken, dafs die von der Erde beschriebene Bahn im Vergleich zu jener Entfernung verschwindend klein sein müfste. Hältst Du es für möglich, dafs der Raum zwischen der Sonne, dem angeblichen Centrum der Welt und dem Saturn noch nicht $^1/_{700}$ des Abstandes der Fixsternsphäre beträgt. Zudem müfste dieser Raum sternenleer sein. Dies ist notwendig der Fall, wenn die jährliche Bahn der Erde von den Fixsternen betrachtet nur die Gröfse einer Minute haben soll. Dann werden schon die Fixsterne 3. Gröfse, deren scheinbarer Durchmesser gleichfalls eine Minute beträgt, an Umfang gleich der Erdbahn sein müssen." Der letztere Einspruch Tychos wurde dadurch hinfällig, dafs, wie man nach der Erfindung des Fernrohrs wahrnahm, die Fixsterne überhaupt keinen scheinbaren Durchmesser besitzen, sondern dem bewaffneten Auge als blofse Lichtpunkte erscheinen. Dies entsprach ganz der Behauptung der Kopernikaner, dafs sie sich in ungeheurer Entfernung von dem Sonnensystem befänden. Der Nachweis der von Tycho geforderten Parallaxe, welche zugleich einen Schlufs auf die Entfernung der Fixsterne gestattet, sollte, wie wir später sehen werden,

[1]) Brief an Rothmann v. 24. 11. 1589. Tychonis Brahe, epistolarum astronomicarum libri. 1610.

erst in unserem Jahrhundert dem Scharfsinn und der Beobachtungsgabe eines **Bessel** gelingen[1]).

Aufser diesem begründeten astronomischen Bedenken machte sich bei **Tycho** den Kopernikanischen Anschauungen gegenüber aber auch ein für jene Zeit charakteristischer Mangel an richtigen mechanischen Begriffen geltend. **Tycho** erhebt nicht nur den

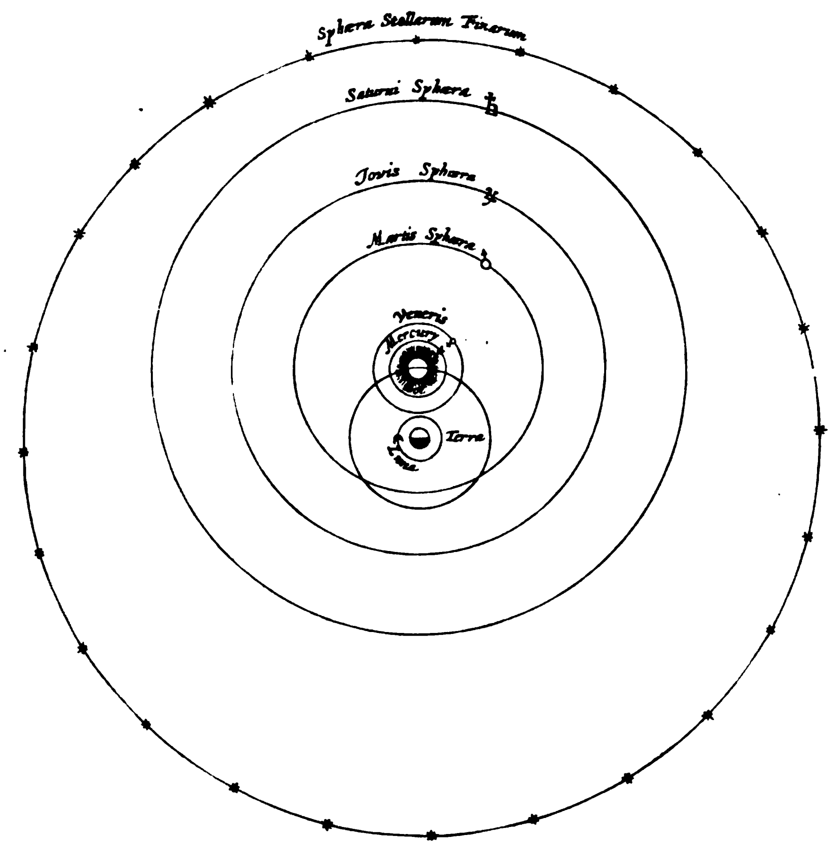



Fig. 25. Tychos System[2]).

landläufigen Einwand, dafs ein fallender Körper, wenn die Erde sich bewege, unmöglich in lotrechter Richtung die Oberfläche treffen könne, sondern er meint auch, die „träge, dicke" Erde sei zu den Bewegungen, welche **Kopernikus** ihr zuschreibt, zu ungeschickt,

---

1) Siehe Bd. I Abschnitt 62.

2) Guericke de vacuo spatio. lib. I. Iconismus III.

Da er andererseits aber fand, dafs die Erscheinungen, welche die Planeten darbieten, sich besser mit der Annahme des Kopernikus, als mit der älteren geocentrischen Ansicht vereinigen lassen, stellte Tycho im Jahre 1587 ein neues, nach ihm benanntes System auf, welches zwischen dem geocentrischen und dem heliocentrischen eine vermittelnde Stelle einnimmt. Danach sollen sich Sonne, Mond und Fixsterne um die Erde bewegen, die fünf Planeten indes gleichzeitig die Sonne umkreisen (siehe Fig. 25). Dies System fand unter den Zeitgenossen Tychos viele Anhänger; auch Bacon zählte zu ihnen.

Als Tycho auf der Höhe seines Ruhmes stand, ereilte ihn ein tragisches Geschick. Sein hoher Gönner[1]) starb, und nun erhoben zahlreiche Feinde und Neider ihr Haupt. Unter anderem hatte Tycho unentgeltlich die Heilkunst ausgeübt und sich dadurch den Hafs der Ärzte zugezogen. Auf Betreiben seiner Widersacher wurden ihm die für die Uranienborg bestimmten Einkünfte fast gänzlich entzogen. Eine zum Zweck der Untersuchung eingesetzte Kommission erklärte, Tychos Fleifs sei nicht nur unnütz, sondern sogar voll schädlicher Kuriosität. Dem grofsen Forscher, dem Bessel den Ehrentitel eines Königs unter den Astronomen gegeben, wurde darauf im Namen des Königs bedeutet, er möge sich mit dergleichen Untersuchungen nicht mehr befassen. Damit war das Schicksal der Uranienborg besiegelt. Die traurige Geistesverblendung, welche der kühn aufstrebenden Naturwissenschaft so manchen Schaden zugefügt, hatte damit wieder einen ihrer so unrühmlichen, zum Glück aber auch erfolglosen Siege zu verzeichnen. Tycho, der schliefslich sogar thätlichen Angriffen preisgegeben war, rettete von seinen Instrumenten und Aufzeichnungen, was sich retten liefs, und kehrte dem undankbaren Vaterlande den Rücken. Wieder war es fürstliche Gunst, welche ihm und seiner hehren Wissenschaft eine neue Heimstätte bereitete. Einem Rufe Kaiser Rudolfs des Zweiten folgend, siedelte Tycho im Jahre 1599 nach Prag über. Dort wurde er zum Kaiserlichen Astronomen ernannt. Von Prag aus erfolgte noch in demselben Jahre Tychos Ruf an Keppler, dessen Lebensschicksal wir bis zu dem Zeitpunkte verfolgt haben, in welchem religiöse Unduldsamkeit den in gesicherten und glücklichen Verhältnissen lebenden Mann in eine hülflose Lage versetzt hatten. Keppler wurde zunächst Hülfsrechner, erhielt aber die Erlaubnis, das umfangreiche Beobachtungsmaterial Tychos

[1]) Friedrich II. von Dänemark starb 1588.

auf seine Weise zu verwerten. „Ich halte es", schrieb Keppler später[1], „für eine Fügung der Vorsehung, dafs bei meiner Ankunft gerade der Mars untersucht wurde. Durch die Bewegungen dieses Gestirnes müssen wir zu den Geheimnissen der Astronomie gelangen oder in derselben beständig unwissend bleiben."

Der Mars machte nämlich von jeher unter allen Planeten die gröfsten Schwierigkeiten, was sich daraus erklärt, dafs seine Bahn am meisten von dem Kreise abweicht. Daran, dafs die Himmelskörper kreisförmige Bahnen besitzen, hatte vor Keppler kein einziger, selbst Kopernikus nicht, gezweifelt. Keppler besafs die Kühnheit, diesen fast als Axiom betrachteten Grundsatz zu verlassen. Zunächst verfiel er auf den Gedanken, ob die Rechnung bessere Resultate unter der Annahme geben würde, dafs die Bahn des Planeten die Gestalt eines Ovals besäfse. Endlich, als sich eine genügende Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung dadurch immer noch nicht erreichen liefs, kam er auf den Einfall, seinen Berechnungen anstatt des Ovals die Ellipse zugrunde zu legen. Und siehe da, während nach den von Kopernikus entworfenen Tafeln der wahre Ort des Mars im Jahre 1608 um nahezu 5 Grade von dem berechneten abwich, zeigte Keppler in seinem ein Jahr später herausgegebenen Hauptwerk „Über die Bewegungen des Mars"[2], dafs die Fehler sich gänzlich beseitigen lassen, wenn man den Planeten eine Ellipse beschreiben läfst, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet.

Es giebt kaum eine andere Entdeckung, welche in solchem Grade der Ausflufs mühevoller, Decennien andauernder Arbeit gewesen ist, wie diese Entdeckung Kepplers. In der an Kaiser Rudolf gerichteten Widmung führt Keppler in scherzhaftem Tone, indem er den Kriegsgott Mars in den Fesseln der Rechnung darbringt, folgendes aus. Die Astronomen hätten bislang diesen Feind nicht zu überwältigen vermocht. Dem trefflichen Heerführer Tycho indessen sei es in zwanzigjährigen Nachtwachen gelungen alle Kriegslisten des Gegners zu erforschen. Dadurch habe Keppler Mut bekommen, und es sei ihm gelungen, Mars gefügig zu machen Er biete nun dem Kaiser seine Dienste dar, auch die Verwandtschaft des Mars, den Jupiter, die Venus und den Merkur, in gleicher Weise zu bezwingen, doch möge man den Schatzmeister anweisen, dafs er ihm die Mittel zu diesem Feldzug auszahle.

---

[1]) De motibus stellae Martis, Pars Secunda, Caput 7.

[2]) De motibus stellae Martis. Prag 1609. Opera omnia ed. Frisch III, 135 f.



Die letzten Worte dieser Widmung gestatten einen Rückschlufs auf die ständige Misere, welche den grofsen Astronomen bis zum Ende seines thatenreichen Lebens begleitete. Tycho war bald nach Kepplers Übersiedelung gestorben[1]) und letzterer zu seinem Nachfolger ernannt. Die Kaiserliche Schatzkammer befand sich indessen stets im Zustande der Erschöpfung, wofür insbesondere die Schar von Goldkochern sorgte, welche Rudolfs Hingabe an die Alchemie weidlich auszunutzen verstanden. Keppler klagt: „Ich stehe ganze Tage in der Hofkammer und bin für die Studien nichts. Ich stärke mich jedoch in dem Gedanken, dafs ich nicht dem Kaiser allein, sondern dem ganzen menschlichen Geschlechte diene, dafs ich nicht nur für die gegenwärtige Generation, sondern auch für die Nachwelt arbeite."

Nach dem Tode Kaiser Rudolfs wurde Kepplers Lage eher schlimmer als besser; er erhielt eine Anstellung in Linz, wo er Mathematik lehren und Vermessungen überwachen mufste. Trotz aller Widerwärtigkeiten verlor er jedoch sein grofses, auf den weiteren Ausbau der Astronomie gerichtetes Ziel nicht aus den Augen. Das unwürdigste Schauspiel, welches uns in der Lebensgeschichte Kepplers begegnet, ist der gegen seine Mutter geführte Hexenprozefs. Eine kurze Darstellung desselben läfst uns nicht nur einen Einblick in den Jammer jener Zeiten thun, sie enthüllt auch den bewunderungswürdigen Charakter Kepplers. Die Mutter des grofsen Astronomen verbrachte ihre Tage in einem kleinen schwäbischen Städtchen[2]). Eine ihrer Nachbarinnen wurde von einem Leiden befallen und verbreitete das Gerede, sie sei von Frau Keppler behext worden. Der Vogt des Ortes war der letzteren übelgesinnt und verstand es, die Angelegenheit zu einem Hexenprozefs aufzubauschen. Im hohen Grade erschwerend wirkte dabei der Umstand, dafs die Angeklagte bei einer Tante erzogen worden war, die man später als Hexe verbrannt hatte. Einzig und allein ihrem Sohne Johannes, der von Linz herbeieilte, gelang es, die Mutter vor der Folter und dem Scheiterhaufen zu bewahren. Die übrigen Söhne hatten sich zurückgezogen, und Kepplers juristische Freunde in Tübingen besafsen nicht den Mut, für die arme, verfolgte Frau einzutreten, die bald nach ihrer Freisprechung infolge der erlittenen Behandlung starb. Giebt es unter den Gestalten, in denen menschliche Gröfse uns entgegentritt, eine solche, der

[1]) Am 24. Oktober des Jahres 1601.

[2]) Leonberg.

wir gröfsere Bewunderung zollen können, als Keppler. Die eigene Sicherheit gering schätzend, zieht er gegen den Wust eines mittelalterlichen Gerichtsverfahrens zu Felde, um den tödlichen Brand von dem Haupte der Mutter abzuwenden, und unter der dadurch verursachten, Jahre währenden Aufregung enthüllt er die Gesetze, nach denen sich der Lauf der Welten regelt.

Unablässig hatte er während der ersten Decennien des 17. Jahrhunderts neben seiner untergeordneten Amtsthätigkeit, die ihn aber nicht einmal vor der Sorge um das tägliche Brot zu schützen vermochte, zwei Aufgaben verfolgt. Einmal galt es, auf Grund der Tychonischen, sowie der eigenen Beobachtungen Planetentafeln zu entwerfen, welche die bisherigen an Genauigkeit übertrafen. Die zweite höhere Aufgabe bestand in der Begründung einer bislang fehlenden Theorie der Planetenbewegung. Beide Aufgaben hat Keppler innerhalb dieses Zeitraumes glänzend gelöst und daneben noch Wertvolles auf dem Gebiete der Mathematik und der Optik geleistet.

Die neuen Tafeln, welche in dankbarer Anerkennung der Verdienste, die sich Kaiser Rudolf um die Förderung des Werkes erworben, die Rudolfinischen genannt wurden, erschienen erst gegen das Lebensende Kepplers[1]). Während der letzten Jahre ihrer Abfassung konnte die mühevolle Arbeit durch die Anwendung der von Bürgi und Neper erfundenen Logarithmen verringert werden. Fast ein Jahrhundert blieben die Rudolfinischen Tafeln ein geschätztes Hülfsmittel der Astronomen; dann erst wurden sie durch neue ersetzt, welche aus der stetig wachsenden Verbesserung der Methoden hervorgegangen waren.

Während sich Kopernikus darauf beschränkt hatte, eine zum Teil noch mit den Mängeln der geocentrischen Ansicht behaftete blofse Beschreibung des Planetensystems zu geben, war Kepplers ganzes Bestreben darauf gerichtet, gesetzmäfsige Beziehungen innerhalb desselben aufzudecken. Das Mifslingen seiner ersten Versuche ist darauf zurückzuführen, dafs es ihm noch an genügendem Beobachtungsmaterial fehlte. Erst durch die Verbindung mit Tycho gelangte er in den Besitz desselben. Es erfolgte die im Jahre 1609 veröffentlichte Entdeckung, dafs die Planetenbahnen Ellipsen sind. Damit war das seit alters geheiligte Axiom von der Kreisbewegung beseitigt. Ebensowenig konnte der Grundsatz, dafs die Bewegung der Himmelskörper eine gleichförmige sei,

1) Tabulae Rudolphinae. Ulm 1627. Opera omnia (ed. Frisch), VI, 661.

den Thatsachen gegenüber aufrecht erhalten werden. Keppler wies nach, dafs ein Planet sich in der Sonnennähe schneller als in der Sonnenferne bewegt. Die Geschwindigkeiten stehen nach ihm in einem solchen Verhältnis, dafs die Flächenstücke, welche von einer den Planeten mit dem Centralkörper verbindenden Linie beschrieben werden, für gleiche Zeiten gleiche Gröfsen besitzen (siehe Fig. 26). Damit waren die Gesetze, nach denen die Bewegung jedes einzelnen Planeten vor sich geht, enthüllt[1]). Es galt noch die Beziehung aufzudecken, welche die an allen Planeten wahrgenommenen Erscheinungen verknüpft und diese Körper als ein gesetzmäfsig verbundenes System erscheinen läfst. Die Lösung dieses Problems wurde erst nach mehr als zwanzigjährigen Mühen gefunden und 1619 in den „Harmonices mundi“ bekannt gegeben.

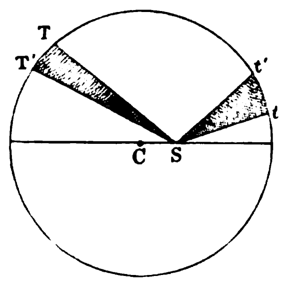



Fig. 26[2]). Zur Erläuterung des zweiten Keppler'schen Gesetzes. Werden die Stücke $tt_1$ und $TT_1$ von dem Planeten in gleichen Zeiten zurückgelegt, so ist $tt_1S$ der Fläche nach gleich $TT_1S$.

Seit dem Jahre 1595 brütete Keppler, wie er selbst sich einmal ausdrückt, mit der ganzen Kraft seines Geistes über die Einrichtung des Kopernikanischen Systems. Unabläfsig suchte er von drei Dingen die Ursache zu ergründen, nämlich von der Anzahl, der Entfernung und der Bewegung der Planeten[3]). Jetzt endlich kann er ausrufen: „Dasjenige, dem ich den gröfsten und besten Teil meines Lebens geopfert, habe ich endlich gefunden und die Wahrheit desselben auf eine Weise erkannt, die selbst meine glühendsten Wünsche übersteigt[4]).“ Die unter dem Namen des dritten Kepplerschen Gesetzes bekannte Beziehung zwischen der Umlaufszeit und der Entfernung zweier Planeten lautet dahin, dafs die Quadrate der Umlaufszeiten sich wie die dritten Potenzen der mittleren Abstände von der Sonne verhalten[5]). Besitzt z. B. ein Planet eine Umlaufszeit von 27 Jahren, so läfst sich aus diesem Gesetze folgern, dafs sein Abstand das Neunfache der Entfernung der Erde von der Sonne beträgt, denn $1^2 : 27^2 = 1 : 729 = 1^3 : 9^3$.

---

[1]) De motibus stellae Martis, Cap. 59 (Opera, edit. Frisch, Bd. III)
[2]) Müllers Lehrbuch der kosmischen Physik. 5. Auflage, Seite 119.
[3]) Opera omnia (ed. Frisch) I, 106.
[4]) Im fünften Buch der Harmonices mundi.
[5]) Opera omnia V, 279.

Dieser Fall findet sich beim Saturn annähernd verwirklicht. Derselbe hat eine Umlaufszeit von 30 Jahren, und seine Entfernung wird dementsprechend etwas gröfser als neun Sonnenweiten gefunden. Wir erkennen aus dieser Betrachtung, dafs die genaue Bestimmung der Sonnenweite, d. h. des Abstandes unserer Erde von dem Centralkörper, von fundamentaler Bedeutung ist. Zur Zeit Kepplers war die absolute Gröfse dieses Abstandes noch nicht bekannt, Keppler setzt denselben in seinen Berechnungen gleich eins, findet also für die Entfernungen der Planeten nur die relativen Werte.

Die naheliegende Gefahr, die entdeckten geometrischen und arithmetischen Gesetze im pythagoreischen Geiste als Ursachen zu betrachten, vermied Keppler. Verstehen wir unter dem Auffinden der Ursache einer Erscheinung ihre Zurückführung auf andere in ihrer Gesetzmäfsigkeit erkannte Vorgänge, so finden wir Keppler schon eifrig bemüht, auch nach dieser Seite hin das Problem der Planetenbewegung zu lösen. Die endgültige Bewältigung desselben blieb jedoch Newton vorbehalten, dem es gelang, die Centralbewegung gleich der Fall- und Wurfbewegung auf die allgemeine Eigenschaft der Schwere zurückzuführen. Dafs die letztere nicht nur an der Oberfläche der Erde, sondern auf kosmische Entfernungen wirkt, findet sich indessen schon bei Keppler ausgesprochen. Seiner Ansicht nach würden zwei Körper, auf welche kein dritter wirkt, auf einander zueilen und sich vereinigen; und zwar würden sich, wie er ganz richtig ausführt, die zurückgelegten Wege umgekehrt wie die Massen verhalten. „Würden Mond und Erde sich nicht im Umlaufe befinden, so stiege die Erde nach dem Monde um den 54. Teil des Zwischenraumes, der Mond würde sich um die übrigen 53 Teile senken. Dann würden sie aufeinandertreffen, vorausgesetzt, dafs beide gleiche Dichte besäfsen [1].“

Zu einer Erklärung der Planetenbewegung konnte man jedoch erst gelangen, als man das Gesetz der Trägheit in seinem vollen Umfange, d. h. ausgedehnt auf Körper, welche sich in Bewegung befinden, auf diesen Vorgang anwandte, wie es Galilei bezüglich der Wurfbewegung gethan. Keppler ging nämlich von der irr-

[1]) Da sich die Massen bei gleicher Dichte wie die Volumina verhalten. In Wahrheit beträgt das Volumen der Erde das 50fache von dem des Mondes, während sich die Dichten beider Weltkörper wie 1 : 0,6 verhalten. Die betreffende Stelle findet sich in Kepplers Astronomia nova (Opera omnia III, 151).

tümlichen Voraussetzung aus, dafs die Planeten zu ihrer Bewegung um die Sonne eines fortgesetzten tangentialen Antriebes bedürften. Dieser sollte in der Sonnenrotation gegeben sein, welche er schon als Erklärungsprinzip forderte, bevor ihr Vorhandensein durch die Beobachtung dargethan war. Wälzte sich die Sonne nicht um ihre Achse, so würden nach Kepplers Ansicht die Planeten diesen Centralkörper nicht umkreisen, sondern auf denselben stürzen, während doch in der That die Sonnenrotation aufhören könnte, ohne dafs die Bewegungen der Planeten eine Änderung erführen. Zu erklären blieb dann noch die ungleiche Dauer, welche die Umläufe beanspruchen. Keppler äufsert sich darüber mit folgenden Worten: „Hätten die Planeten nicht eine natürliche Renitenz, so liefse sich keine Ursache angeben, warum sie nicht der Umwälzung ihres Bewegers aufs Genaueste folgen sollten. Nun aber gehen zwar alle nach der Richtung, nach welcher die Sonne rotiert, aber der eine immer langsamer als der andere. Sie vermengen also nach gewissen Verhältnissen mit der Geschwindigkeit des Bewegers die Trägheit ihrer eigenen Materie [1])." Diese bewegende Kraft der Sonne wird von Keppler mit dem Magnetismus verglichen. Von dem Lichte weifs er, dafs die Intensitäten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Er wirft sogar die Frage auf, warum die Wirkungen jener bewegenden Kraft der Sonne sich nicht ebenso verhalten, streift damit also nahe an die Entdeckung des Weltgesetzes.

Nachdem die Astronomie durch die Forschungen Kepplers eine andere Gestalt gewonnen, bedurfte es einer zusammenhängenden neuen Darstellung des gesamten Lehrgebäudes. Dieser Aufgabe unterzog sich Keppler durch die Herausgabe seiner Epitome astronomiae Copernicanae [2]). Damit erschien das erste astronomische Lehrbuch, welches das Kopernikanische System zu Grunde legte, fast hundert Jahre nach der Aufstellung des letzteren.

Das Jahr 1619, in welchem Keppler durch die Veröffentlichung des dritten Gesetzes der Planetenbewegung sein Lebenswerk krönte, war für die spätere Gestaltung seiner äufseren Lage kein günstiges. In diesem Jahre kam nämlich der fanatische Ferdinand II. auf den Kaiserthron. Die Verfolgungen der Protestanten mehrten sich. Schliefslich fühlte sich auch Keppler dazu

---

[1]) Nach einem von Kästner in seiner Geschichte der Mathematik, Bd. IV, 360 mitgeteilten Auszug der Epitome Copernicae Kepplers.

[2]) Erschien 1618—1621 in Linz und Frankfurt (Opera omnia VI, 113 ff.).

gedrängt, seine dürftige Stelle in Linz aufzugeben. Von diesem Zeitpunkte, dem Jahre 1626, an führte der schon alternde Mann ein sorgenvolles, unstätes Leben. Er hatte an rückständigem Gehalt von der kaiserlichen Hofkasse nicht weniger als 12000 Gulden zu fordern. Man entledigte sich des unbequemen Mahners, indem man jene Schuld auf den zum Herzog von Mecklenburg ernannten Wallenstein übertrug. Dieser suchte Keppler wieder mit einer Professur in Rostock abzuspeisen, welche derselbe jedoch nicht annahm. Nach dem Sturze Wallensteins begab sich Keppler im Jahre 1630 nach Regensburg, um dort auf dem Reichstage seine Forderung geltend zu machen. Den ausgestandenen Strapazen und Aufregungen war sein geschwächter Körper jedoch nicht gewachsen. Er erlag denselben bald nach seiner Ankunft in Regensburg am 15. November 1630. Die wohlverdiente letzte Ruhestätte hat man ihm vor den Thoren dieser Stadt bereitet. Zwei Jahre später tobte die Furie des dreifsigjährigen Krieges über Kepplers Grab, wodurch jede Spur desselben verwischt wurde.

Nach dieser Darstellung des Lebensganges und der astronomischen Leistungen Kepplers wollen wir seine Verdienste um die Optik und die Mathematik, die wichtigsten Hülfswissenschaften der Astronomie, ins Auge fassen. Die Resultate seiner optischen Untersuchungen hat Keppler in zwei Werken niedergelegt, von denen das eine unter dem Titel „Supplemente zum Vitellio“ [1]) die gesamte Lehre vom Lichte berücksichtigt, während sich das zweite, die Dioptrik [2]), vorzugsweise mit der Brechung beschäftigt. Was Euklid im Altertum und in späterer Zeit Alhazen auf dem Gebiete der Optik geleistet hatten, wird bei weitem übertroffen durch die grundlegenden in den genannten Werken enthaltenen Untersuchungen Kepplers. Dafs der letztere mit dem Hauptgesetz der Photometrie vertraut war, haben wir in der Erörterung seiner astronomischen Ansichten [3]) bereits erfahren. Keppler hat dieses wichtige Gesetz zuerst in voller Klarheit entwickelt [4]).

Von besonderem Interesse mufste für den Astronomen das

---

[1]) Ad Vitellionem Paralipomena. Frankfurt 1604 (Gesamtausgabe von Frisch II, 119).

[2]) Joannis Kepleri Dioptrice. Augsburg 1611 (Gesamtausgabe von Frisch II, 515).

[3]) Siehe Seite 164 ds. Bds.

[4]) Ad Vitellionem Paralip. Cap. I, Prop. IX. (Edit. Frisch. II, 133).

Problem der Brechung sein, an dem sich schon das Altertum mit einigem Erfolg versucht hatte. Beruhte doch auf dieser Erscheinung die astronomische Refraktion, deren genaue Bestimmung für die beobachtende Astronomie sehr wichtig war, sowie die Konstruktion des Fernrohrs, um dessen Verbesserung, wie wir sahen, Keppler sich gleichfalls verdient gemacht hat.

Beim Messen der Brechung verfuhr Keppler folgendermafsen. Er bestimmte die Schattenlänge von BE (siehe EH in Fig. 27) und schob dann einen Würfel der zu untersuchenden Substanz gegen die senkrechte Platte BDE. Infolge der Brechung des Lichtes tritt dann eine Verkürzung des Schattens um das Stück GH ein, aus deren Gröfse man das Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel berechnen kann. Dabei machte Keppler

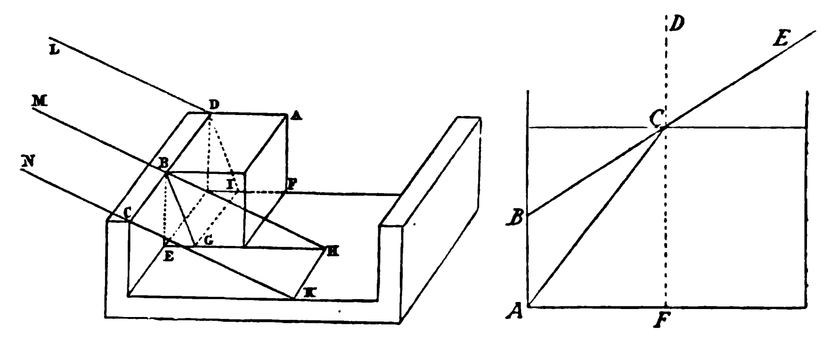



Fig. 27. Kepplers Verfahren, den Brechungswinkel zu bestimmen[1]).

Fig. 28. Snellius entdeckt das Brechungsgesetz.

die Entdeckung, dafs ein durch Glas gehender Lichtstrahl, dessen Einfallswinkel an der Grenze zwischen Glas und Luft gröfser ist als 42°, nicht in die Luft tritt, sondern an der Grenze beider Medien nach dem Gesetz der Reflexion total zurückgeworfen wird[2]).

Trotz zahlreicher Messungen der Einfalls- und der zugehörigen Brechungswinkel, waren die Bemühungen Kepplers, eine gesetzmäfsige Beziehung zwischen beiden Gröfsen zu finden, nicht von Erfolg gekrönt. Erst Snellius entdeckte (Fig. 28), dafs der Weg (CA) eines Lichtstrahls, der aus Luft in Wasser tritt und auf eine

---

[1]) Kepplers Dioptrice, Figur zu Problema IV (Editio Frisch II, 528).

[2]) Dioptrice, XIII. Propositio (Edit. Frisch II, 530): Nullus radius, qui intra corpus crystalli super unam ejus superficiem plus 42° inclinatur a vertice, poterit illam superficiem penetrare.

senkrechte Wand fällt, sich zu dem Wege (CB), den derselbe Strahl ohne Ablenkung von seiner Eintrittsstelle bis zu jener Wand zurückgelegt haben würde, stets wie 3 : 2 verhält. Mit dem heute gebräuchlichen Ausdruck für dieses Gesetz, nach welchem der Sinus des Einfallswinkels (DCE) zum Sinus des Brechungswinkels (ACF) in einem bestimmten Verhältnis steht (für Luft und Wasser = 3 : 2), war Snellius noch nicht vertraut[1]. In diese Form wurde das Brechungsgesetz erst durch den französischen Philosophen und Mathematiker Descartes[2] gebracht.

Besondere Verdienste hat sich Keppler um die Theorie des Sehens erworben, indem er die Retina (Netzhaut) für denjenigen Teil des Auges erklärte, welcher das von der Linse erzeugte Bild auffängt. Er meint, es müsse daher nach Fortnahme der undurchsichtigen äufseren Häute des Auges auf der Netzhaut ein umgekehrtes, verkleinertes Bild des Gegenstandes zu sehen sein, eine Annahme, welche später Scheiner[3] durch den Versuch bestätigte.

Auch die Kurzsichtigkeit und die Übersichtigkeit wurde von Keppler zuerst erklärt. Bei einem kurzsichtigen Auge schneiden sich, wie er ausführt, die von jedem Punkte eines Gegenstandes ausgehenden Strahlen schon innerhalb des zwischen Linse und Netzhaut befindlichen Glaskörpers. Sie breiten sich hinter ihrem Durchschnittspunkte wieder kegelförmig aus und geben daher auf der Netzhaut Lichtkreise an Stelle von Lichtpunkten. Ähnlich verhält sich das übersichtige Auge, welches die Strahlen nicht stark

---

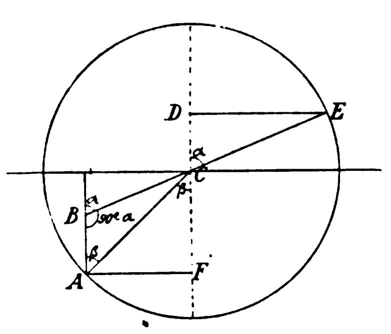



Fig. 29. Ableitung des Brechungsgesetzes.

[1]) Der von Snellius gefundene Ausdruck läfst sich leicht in den gebräuchlichen umwandeln. Man geht von der oben gegebenen Fig. 28 aus und schlägt um C einen Kreis mit CA als Einheit (siehe Fig. 29). Dann ist $\sin \alpha$ (Einfllsw.) = DE und $\sin \beta$ (Brchgsw.) = AF, ferner ist AC : CB = $\sin (90 - \alpha) : \sin \beta = \sin \alpha : \sin \beta$ = DE : AF. Ist nun AC : CB konstant, und zwar für Luft und Wasser gleich 3 : 2, so gilt dasselbe von $\sin \alpha : \sin \beta$, da wir diesen Ausdruck gleich AC : CB gefunden haben.

[2]) Descartes Dioptrik, Kapitel 2. Näheres über Descartes' Anteil an der Entdeckung des Brechungsgesetzes siehe in der bezüglichen Abbandlung von P. Kramer (Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. 4. Heft. 1882).

[3]) Siehe Seite 145 ds. Bds.

genug bricht, sodaſs die Spitzen der Strahlenkegel hinter der Netzhaut liegen [1]).

Da mit der Entfernung des Gegenstandes auch der Abstand des Bildes von der Linse sich ändert, so blieb noch zu erklären, durch welchen Vorgang ein normales Auge in die Lage gesetzt wird, die Bilder entfernter und naher Gegenstände mit gleicher Schärfe wahrzunehmen. Keppler ist der Meinung, daſs diese Akkommodation entweder durch eine Annäherung und Entfernung der Linse in Bezug auf die ihre Lage beibehaltende Netzhaut oder durch eine entsprechende Bewegung der letzteren geschieht [2]), während Descartes der später als richtig erkannten Ansicht zuneigt, daſs die Linse infolge der Muskelthätigkeit des sie umgebenden Strahlenkörpers bald mehr bald weniger gekrümmt sei [3]).

Descartes und Keppler waren ferner der Meinung, daſs das Licht zu seiner Fortpflanzung keine Zeit beanspruche. Ersterer stützte sich dabei nicht ausschlieſslich auf die Wahrnehmung irdischer Vorgänge, sondern zog auch astronomische Erscheinungen zur Entscheidung dieser Frage in Betracht. Da er jedoch nur solche ins Auge faſste, die sich bei den Verfinsterungen des Mondes abspielen, so konnte sich bei der verhältnismäſsig geringen Entfernung dieses Weltkörpers, welche das Licht in einer Sekunde durcheilt, nur ein negatives Resultat ergeben [4]).

Die Entdeckungen Galileis und Kepplers sind in erster Linie auf eine erfolgreiche Anwendung der Mathematik auf physikalische und astronomische Probleme zurückzuführen. Dazu trat bei Galilei insbesondere der Drang, die durch Deduktion gewonnenen Resultate durch sinnreich ausgedachte Versuche auf den Rang naturwissenschaftlicher Wahrheiten zu erheben. Der Fortschritt in der von Galilei und Keppler eingeschlagenen Richtung war daher nicht zum geringsten an die weitere Entwicklung der Mathematik geknüpft. Letztere nahm denn auch in diesem Zeitalter unter der Mitwirkung der bedeutendsten Naturforscher einen kräftigen Aufschwung, welcher in der nachfolgenden Periode durch die Thätigkeit eines Newton, Leibniz und Huygens eine Fortsetzung erfuhr.

1) Ad Vitellionem Paralipomena. Frankfurt 1604. Cap. V. Propos. XXVIII Edit. Frisch II, 255).

2) Keppler Dioptrice, LXIV. Propositio (Ed. Frisch II, 540).

3) Siehe Wilde, Geschichte der Optik I, 254.

4) Siehe Ostwalds Klassiker d. exakt. Wiss. Nr. 20, Seite 12 und 13.

In dem Maſse, in welchem die Genauigkeit der astronomischen Beobachtungen wuchs, war auch die Berechnung der Resultate zeitraubender und mühseliger geworden, sodaſs man das dringende Bedürfnis empfand, an die Stelle des Multiplizierens und Dividierens groſser Zahlen eine Vereinfachung treten zu lassen. Dies geschah denn auch durch Einführung der Logarithmen, welche jene Operationen auf das so viel schneller zu bewerkstelligende Addieren und Subtrahieren zurückzuführen. Zur Berechnung astronomischer Tafeln hat Keppler die Logarithmen, welche nach einem Ausspruch von Laplace die Arbeit von Monaten auf Stunden abkürzen und auf solche Weise das Leben des Astronomen verlängern, zum erstenmal im Jahre 1620 angewandt.

In den Anfang des 17. Jahrhunderts fallen auch die ersten Schritte zur Begründung einer mathematischen Methode, deren weitere Ausgestaltung zu einem der mächtigsten Hülfsmittel der Naturforschung Newton und Leibniz vorbehalten blieb. Es ist dies die Infinitesimalrechnung. Unter den Männern, welche hier als Vorläufer genannt werden müssen, nimmt Keppler neben dem Italiener Cavalieri, einem Schüler Galileis, die erste Stelle ein. Schon die Alten, insbesondere Archimedes hatten die Bemerkung gemacht, daſs gewisse geometrische Probleme mit den Mitteln der Elementarmathematik nicht gelöst werden können. Dies hatte auf die Anwendung eines unter dem Namen der Exhaustionsmethode bekannten Verfahrens geführt, vermittelst dessen z. B. Archimedes[1]) die Quadratur der Parabel gelang. Auch die gleichfalls von Archimedes angestellte Berechnung des Kreisumfangs mit Hülfe der ein- und umgeschriebenen Vielecke zeigt uns, wie man schon im Altertum wenigstens auf Umwegen die Rektifikation einer Kurve vorzunehmen verstand[2]).

Der weitere Fortschritt der Astronomie und der Mechanik war nun an die Entwicklung einer Methode geknüpft, welche eine allgemein gültige Lösung für die Ausmessung von Kurven, der von Kurven eingeschlossenen Flächen, sowie durch Bewegung solcher Flächen entstandener Körper ermöglichte. Wie wichtig muſste es z. B. für Keppler sein, den Umfang der Ellipse aus der groſsen (a) und der kleinen (b) Achse berechnen zu können. Er hat sich auch hieran versucht und giebt den Wert für diesen Umfang als nahezu gleich $\pi$ (a + b) an[3]).

1) Archimedes (ed. Nizze) Seite 12—25.

2) l. c. Seite 110—115.

3) De motibus stellae Martis: Cap. 59, 5. Opera Keppleri (ed. Frisch) III, 401.

Für die Bestimmung des Rauminhalts von Rotationskörpern lieferte Keppler die Grundlage in seiner Doliometrie[1]) oder Fafsberechnung. Lagrange hat später von diesem Werke gesagt, dafs es in ähnlicher Weise wie die Sandesrechnung des Archimedes an einem gewöhnlichen Gegenstande die erhabensten Gedanken entwickle. Ein besonderer Umstand war für Keppler die Veranlassung gewesen, seine Betrachtungen gerade an die Ausmessung von Fässern anzuknüpfen. Er hatte nämlich beim Einkauf von Wein beobachtet, dafs der Händler den Inhalt des Fasses bestimmte, indem er einen Mefsstab durch den Spund bis zu den gegenüber befindlichen Dauben führte und auf die Krümmung der letzteren keine Rücksicht nahm. Ein dem Fasse entsprechender Körper wird entstehen, wenn eine gewisse Fläche um eine Achse rotiert. Kepplers Grundgedanke bestand nun darin, derartige Rotationskörper in eine grofse Anzahl von Elementarteilen (siehe Fig. 30) zu zerlegen und diese zu summieren, eine Untersuchung, welche in der Doliometrie auf etwa 90 Fälle ausgedehnt wird.

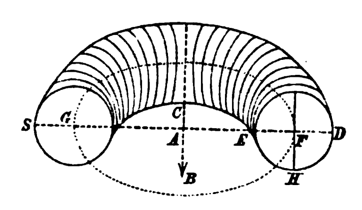


Fig. 30. Kepplers Kubatur des Ringes (Opera omnia. IV, pg. 575).

Die Zerlegung in Elementarteile dehnte der Italiener Cavalieri (1598—1647) in seinen „Indivisibilien"[2]) auf sämtliche geometrischen Gebilde aus, indem er die Linien auf Punkte, die Flächen auf Linien und die Körper auf Flächen zurückführte. Dafs sich diese neue mathematische Methode auf die Lösung physikalischer Probleme anwenden läfst, zeigten die grundlegenden Arbeiten auf dem Gebiete der Mechanik der Flüssigkeiten. Hier tritt uns in dem Niederländer Stevin (1548—1620) ein Mann entgegen, welcher eine ähnliche Bedeutung besitzt, wie sie Galilei als Begründer der Dynamik erlangt hat. Unter anderem handelt es sich bei Stevin um die Bestimmung des Druckes, den ein rechteckiges Stück der Seitenwand eines mit Wasser gefüllten Gefäfses auszuhalten hat[3]). Stevin zerlegt dieses Rechteck durch horizontal

1) Nova Stereometria Doliorum vinariorum. Linz 1615. Opera omnia (ed. Frisch) IV, 555 ff.

2) Geometria indivisibilibus continuorum nova ratione promota. 1635.

3) Stevins Werke, Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin, herausgegeben von Girard, Leyden 1634. Des élémens hydrostatiques; Théorème IX. pg. 488—491. Die betreffende Untersuchung hat Stevin im Jahre 1608 veröffentlicht (S. Cantor, Geschichte der Mathematik II, 533).

verlaufende Linien in eine Summe von kleineren Rechtecken. Das oberste Stück empfängt einen Druck, der gröfser ist, als der Druck eines Wasserprismas von der Grundfläche g und der Höhe h, indes geringer als der Druck eines Prismas von der gleichen Grundfläche und der Höhe $h_1$. Dieselbe Betrachtung ergiebt sich für alle übrigen Rechtecke. Stevin erhält dann durch Summierung einen Gesamtdruck, welcher zu grofs und durch eine zweite Summierung einen Gesamtdruck, welcher zu klein ist. Beide Summen nähern sich, wenn man die Streifen immer schmäler nimmt, derselben Grenze. Von Stevin rührt auch der Nachweis des hydrostatischen Paradoxons her[1]) d. h. des Satzes, dafs der Bodendruck einzig von der Gröfse der gedrückten Fläche und der Höhe der Flüssigkeitssäule und nicht von der Gestalt des Gefäfses abhängt (siehe Fig. 32). Den aufwärts gerichteten Druck wies Stevin nach, indem er eine Bleiplatte G (siehe Fig. 33) gegen eine beiderseits offene Röhre EF legte und das von dieser Platte bedeckte Ende in das Wasser hinabsenkte. Die Platte fällt bei diesem Versuche bekanntlich nicht ab, sondern wird durch den aufwärts gerichteten Druck der Flüssigkeit gegen das offene Ende der Röhre geprefst.

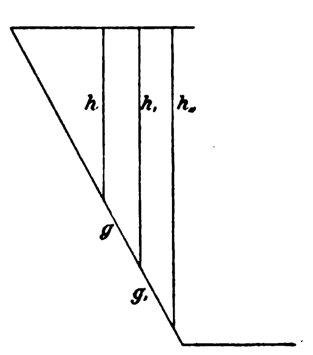


Fig. 31. Stevins Ableitung des Seitendruckes.

Auch die von Galilei ins Leben gerufene italienische Schule dehnte ihre Untersuchungen auf die Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper aus. In erster Linie ist hier Galileis hervorragendster Schüler Toricelli (1608—1647) zu nennen. Die im Jahre 1644 erschienene Abhandlung Toricellis über ausströmende Flüssigkeiten[2]) ist für dies Gebiet von grundlegender Bedeutung geworden. Toricelli lieferte darin den Nachweis, dafs der aus einer seitlichen Öffnung austretende Flüssigkeitsstrahl die Form einer Parabel annimmt, und dafs die Geschwindigkeit desselben, mithin auch die ausfliefsenden Wassermengen, zu der Höhe der über der Öffnung befindlichen Flüssigkeitssäule in einem bestimmten Verhältnis steht. Für die vierfache Druckhöhe ergab sich die

---

1) Stevins Werke, Seite 499. V. Buch der Statik.

2) Opera geometrica. Florenz 1644, 3. Abschnitt: De motu gravium naturaliter descendentium.

doppelte, für die neunfache Druckhöhe dagegen die dreifache Geschwindigkeit, oder es verhielten sich die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen [1]).

Fig. 32. Stevins Nachweis des hydrostatischen Paradoxons [3]). ABCD ist ein mit Wasser gefülltes Gefäfs, in dessen Boden sich eine runde Öffnung EF befindet, welche mit einer hölzernen Scheibe bedeckt ist. IKL sei ein zweites Gefäfs von derselben Höhe wie das vorige und mit einer gleichgrofsen Öffnung im Boden. Diese Öffnung sei gleichfalls durch eine Holzscheibe von demselben Gewicht wie die vorige geschlossen. Man findet dann durch den Versuch, dafs die Scheiben nicht emporsteigen, sondern gegen die Öffnungen geprefst werden; und zwar werden sie denselben Druck empfangen. Dies läfst sich nachweisen, indem man die gleichen Gewichte T und S anbringt, welche ebenso schwer sind wie die über der Scheibe GH befindliche Wassersäule ERQF (Stevins Werke, Seite 499).

Anknüpfend an die von Galilei in seinen „Unterredungen" erwähnte Beobachtung [2]), dafs das Wasser dem Kolben einer Saugpumpe nur bis zu einer Höhe von 18 italienischen Ellen (10 m) folgt, untersuchte Toricelli, wie weit denn das Quecksilber, eine Flüssigkeit, welche etwa 14 mal so schwer ist, von dem vermeintlichen Horror vacui emporgehoben wird. Der zuerst von Viviani angestellte Versuch zeigte, wie Toricelli vorausgesehen, dafs die Steighöhe in demselben Mafse geringer ist, wie das spezifische Gewicht des Quecksilbers dasjenige des Wassers übertrifft. Beide Freunde führten den so überaus wichtigen Versuch in der in Fig. 34 dargestellten Weise aus. Sie nahmen ein kugelförmig erweitertes Rohr von 2 Ellen Länge, füllten dasselbe mit Quecksilber und kehrten es in einem mit Quecksilber gefüllten Gefäfse um, indem sie das offene Ende mit dem Finger verschlossen hielten. Nachdem der Verschlufs aufgehoben, sank die Flüssigkeit und blieb in einer Höhe von $1^1/_2$ Ellen in der Schwebe. Das Vakuum, das sich bei diesem Versuche über dem Quecksilber bildet, erhielt

---

[1]) $v = \sqrt{2gh}$, $v_1 = \sqrt{2gh_1}$, $v : v_1 = \sqrt{h} : \sqrt{h_1}$. Mit der Formel $v = \sqrt{2gh}$ war Toricelli noch nicht bekannt; sie rührt von Johann und Daniel Bernoulli her.

[2]) Siehe Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 17.

[3]) Stevins Werke, Seite 499, Fig. 4.

den Namen der Toricellischen Leere. Der Apparat selbst wurde in der Folge als Barometer bezeichnet, da, wie schon Toricelli hervorhob, die Höhe der Quecksilbersäule der Gröfse des Luftdruckes entspricht [1]). Die Schwankungen, welche man an diesem Instrument beobachtet, führte Toricelli dementsprechend auf gleichzeitige Änderungen des Druckes zurück. Der Horror vacui war damit als Erklärungsgrund verworfen. Dieses Prinzip war jedoch dermafsen eingewurzelt, dafs erst die überzeugende Kraft, die den Versuchen Pascals und Guerickes innewohnte, dasselbe aus der Physik dieses Zeitalters gänzlich verschwinden liefs.

Mit dem Gedanken, welcher den Franzosen Pascal (1623 bis 1662) leitete, ist der Leser bereits durch die im I. Bande wiedergegebenen Ausführungen dieses Forschers bekannt geworden. Ist es der Luftdruck und nicht der mystische von den Peripatetikern angenommene Horror vacui, der das Quecksilber des Barometers in der Schwebe hält, so liefs sich erwarten, dafs in den oberen Regionen der Atmosphäre, wo die Luftsäule kürzer ist und infolgedessen einen geringeren Druck ausübt, auch eine entsprechende Verkürzung der Quecksilbersäule stattfindet. Der Versuch, den Pascal nicht selbst anstellte, sondern durch seinen Schwager Périer auf dem Gipfel des Puy-de-Dôme ausführen liefs, entsprach ganz der Erwartung. Über den Verlauf dieses in der Geschichte der Physik so denkwürdigen Versuches erstattete Périer jenen Bericht, den der Leser durch den 12. Abschnitt des I. Bandes kennen gelernt hat. Der Stand des Barometers, welcher am Fufse des Puy-de-Dôme 26 Zoll 3½ Linien betrug, belief sich danach zur selben Zeit auf dem Gipfel des 970 m hohen Berges auf 23 Zoll 2 Linien [3]).

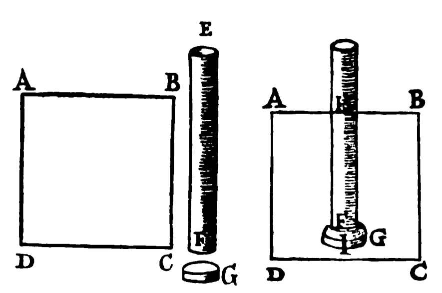


Fig. 33. Stevins Nachweis des aufwärts gerichteten Druckes [2]).

[1]) Siehe das 7. Heft der „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus", herausgegeben von Professor Dr. G. Hellmann: Evangelista Toricelli, Esperienza dell' Argento Vivo. Berlin. A. Asher & Co. 1897.

[2]) Stevins Werke, Seite 500, Fig. 2 und 3.

[3]) Pascal, Récit de la grande éxperience de l'équilibre des liqueurs,

Eine Förderung ohne Gleichen erfuhr die Physik der gasförmigen Körper durch die zahlreichen Versuche, welche Otto von Guericke unter Zuhülfenahme der von ihm erfundenen Luftpumpe anstellte. Die neuere das Experiment in den Vordergrund stellende Richtung der Naturwissenschaft hatte in Deutschland vor Guericke nur geringe Beachtung gefunden. Wir sahen, dafs ein Mann von der Bedeutung Kepplers nicht einmal dazu gelangte, die Resultate seines Deduzierens, sofern sie z. B. das Bild auf der Netzhaut und die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs betrafen, auch durch den Versuch zu verifizieren. In Guericke tritt uns dagegen mit einem Male ein Experimentator ersten Ranges entgegen. Als solchen haben wir ihn zu würdigen, nicht nach seiner Begabung zur Entwicklung theoretischer und philosophischer Vorstellungen. In letzterer Hinsicht mag sogar das Urteil eines Leibniz, dafs uns in Guericke kein Geist ersten Ranges begegnet, seine Berechtigung haben. Andererseits übertraf Guericke aber an folgerichtigem Denken die Mehrzahl seiner Zeitgenossen. Indem sie an die Stelle verschwommener Ideen die scharfe Logik der Thatsachen setzten, haben Guericke und geistesverwandte Forscher, welche

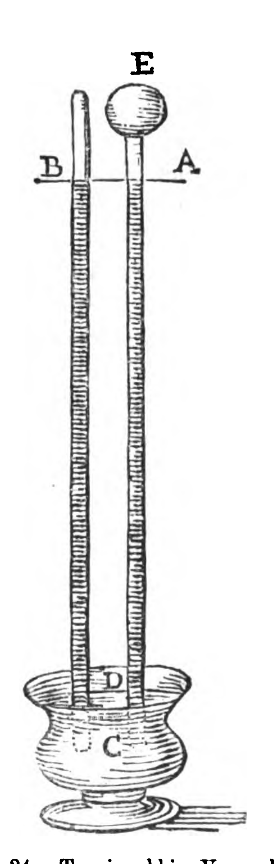



Fig. 34. Toricellis Versuch[1]) (Toricelli, Esperienza dell Argento Vivo; siehe Anm. 1 der vorigen Seite).

---

Paris 1648. Neuerdings erscheinen als 2. Heft der „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus", herausgegeben von Professor Dr. G. Hellmann. Berlin, A. Asher & Co.

[1]) Der Toricellische Versuch wurde zum erstenmal im Jahre 1643 ausgeführt.

in den nördlichen Ländern Europas bald in gröfserer Zahl erstanden, der wahren, auf die Resultate der exakten Forschung sich gründenden Philosophie erst den Weg geebnet. In Anbetracht dieser Bedeutung Guerickes wird es sich rechtfertigen, wenn wir zunächst bei seinem Leben verweilen, dessen Schilderung wie bei Galilei und Keppler zugleich ein Kulturbild aus dem 17. Jahrhundert entrollt.

Otto von Guericke[1]) wurde am 20. November 1602 zu Magdeburg als Spröfsling einer dort ansässigen Rats- und Patrizierfamilie geboren[2]) und widmete sich in Leipzig dem Studium der Rechte. An einen längeren Aufenthalt in Leyden, wo er sich auch mit Mathematik, Mechanik und Fortifikationslehre beschäftigte, schlofs sich eine Reise nach Frankreich und England an. So vorbereitet, trat Guericke in noch jugendlichem Alter in das Ratskollegium seiner Vaterstadt und wirkte dort mit allen Kräften für das Wohl seiner Mitbürger. Die Wirren des dreifsigjährigen Krieges griffen jedoch auch in das Leben dieses mit geistigen und materiellen Gütern so reich gesegneten Mannes ein. Als die Horden Tillys im Jahre 1631 plündernd und sengend in Magdeburg eindrangen, vermochte Guericke sich und seiner Familie kaum mehr als das nackte Leben zu retten. Seine Kenntnisse in der Ingenieurwissenschaft, welche er seit jenem Aufenthalt in Leyden aus Liebhaberei betrieben hatte, verschafften ihm jedoch eine neue Stellung. So sehen wir ihn nach dem Falle Magdeburgs in verschiedenen Städten Deutschlands mit der Leitung von Befestigungsbauten betraut, in welchen jene rauhe Zeit des Krieges die wichtigste Aufgabe der Technik erblickte. Diese Thätigkeit Guerickes hatte wenigstens das Gute im Gefolge, dafs er später dazu geführt wurde, die Mittel der Ingenieurmechanik auf die Lösung wissenschaftlicher Probleme anzuwenden. Leider ist wenig Zuverlässiges über die allmähliche Ausreifung und Durchführung der Ideen Guerickes bekannt geworden, sodafs selbst über die Zeit seiner wichtigsten Erfindung, derjenigen der Luftpumpe nämlich, zuverlässige Daten nicht mehr ermittelt werden konnten[3]). Nachdem Magdeburg unter schwedischem

[1]) Eine ausführliche Biographie lieferte F. W. Hoffmann unter dem Titel: O. v. Guericke, ein Lebensbild aus der Geschichte des 17. Jahrhunderts.

[2]) Er starb am 11. Mai 1686 in Hamburg.

[3]) Siehe auch die betreffenden Abhandlungen G. Bertholds in den Annalen der Physik und Chemie. XX. 1883, sowie in den Verhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Stockholm 1895. Nr. 1.

Schutze neu erstanden war, kehrte Guericke gleich vielen seiner Mitbürger in die Vaterstadt zurück. Unter seiner Leitung wurden die Festungswerke und die von den Kaiserlichen gleichfalls zerstörte Elbbrücke wieder hergestellt. Für Guericke folgte dann eine Zeit ruhigen Lebens, während er seit seiner im Jahre 1646 erfolgten Ernennung zum Bürgermeister mit diplomatischen Geschäften überhäuft war. So finden wir ihn als Vertreter der Magdeburgischen Interessen auf dem Friedenskongreſs zu Onabrück. dann wieder am Hofe zu Wien und auf dem Reichstage zu Regensburg. Dort zeigt er dem Kaiser und den versammelten Fürsten im Jahre 1654 seine Luftpumpe und jenen berühmt gewordenen Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln, mit welchem der Leser durch die Lektüre des I. Bandes bereits bekannt geworden ist[1]). Wir haben daselbst auch Guerickes Schilderung seiner Vorversuche kennen gelernt. In Anbetracht des Umstandes, daſs derartige Versuche jahrelange Mühen und bedeutende Kosten erfordern — Guerickes Sohn hat dieselben auf insgesamt 20000 Thaler beziffert — hat die Annahme etwas für sich, daſs diese Versuche in das Decennium von 1635—1646 fallen.

Die erste Veröffentlichung über die Luftpumpe und die von Guericke mit derselben angestellten Experimente verdanken wir dem Würzburger Professor Kaspar Schott. Letzterer befaſste sich im Auftrage seines Landesherrn, dessen Interesse durch die Vorführungen auf dem Regensburger Reichstage in hohem Grade angeregt war, mit der Wiederholung jener Versuche, ohne sich jedoch von der durch Guericke mit Nachdruck bekämpften Lehre vom Horror vacui lossagen zu können. Obgleich letzterer ursprünglich nicht die Absicht hatte, über seine Erfindungen und Entdeckungen zu schreiben, zwang ihm doch dieser Widerstreit der Meinungen endlich die Feder in die Hand. So entstand das im Jahre 1663 vollendete, indes erst 1672 erschienene umfangreiche Werk „Über den leeren Raum“[2]). Der weitaus wichtigste Teil desselben ist das dritte „Über eigene Versuche“ betitelte Buch[3]). Dasselbe ist eine der wichtigsten und interessantesten

---

1) Siehe Bd. I, Seite 68.

2) Ottonis de Guericke, **Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio. Amsterdam. 1672.**

3) Aus dem Lateinischen übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von Friedrich Dannemann. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894 (59. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften).

älteren Monographieen über einen physikalischen Gegenstand, deren Studium jedem, der sich für die Entwicklung der Naturwissenschaften interessiert, warm empfohlen werden kann, um so mehr als das Eindringen in einige Quellenschriften einen in hohem Grade bildenden Wert besitzt[1]).

Infolge der Streitereien über den leeren Raum war in Guericke die Begierde rege geworden, durch Versuche die Frage, ob ein Vakuum möglich sei, der Lösung zuzuführen. „Denn", so hebt er hervor, „die Gewandtheit im Disputieren gilt nichts auf dem Gebiete der Naturwissenschaften[2])". Wir erfahren aus der fesselnd geschriebenen Darstellung znnächst von seinen Bemühungen, ein mit Wasser gefülltes Fafs zu evakuieren[3]). Diese Bemühungen scheitern indes an der Porosität des Holzes. Der Versuch gelingt, als Guericke Gefäfse von Kupfer und von Glas anwendet. Die in Fig. 6 des I. Bandes reproduzierte Tafel zeigt einen derartigen Recipienten in Verbindung mit einer schon sehr handlich konstruierten Luftpumpe, deren genauere Beschreibung manche interessante Einzelheit enthält[4]). Bemerkenswert ist auch die Art, auf welche Guericke zur Erfindung des Wasserbarometers geführt wurde. Als er nämlich einigen Freunden den entleerten Recipienten zeigt und in denselben durch eine Röhre Wasser leitet, das sich am Boden des Zimmers befindet, fragt einer der Umstehenden, bis zu welcher Höhe das Wasser auf diese Weise gesogen werden könne. Sofort begiebt sich Guericke an die Lösung des aufgeworfenen Problems. Die Röhre wird Stück auf Stück verlängert, während der Recipient in immer höhere Stockwerke des Hauses gebracht wird (siehe die Fig. 7 im I. Bande). Endlich wird die Steighöhe gleich 19 Magdeburger Ellen ermittelt; doch zeigt es sich, dafs das Wasser mitunter mehrere Handbreit höher oder tiefer steht. Aus diesen Schwankungen, von denen Pascal nachwies, dafs sie in viel beträchtlicherem Mafse beim Durchschreiten verschiedener Niveaus der Atmosphäre eintreten, schlossen beide Forscher, dafs nicht der Horror vacui, sondern eine äufsere Ursache, der Luftdruck nämlich, das Steigen der Flüssigkeiten hervorruft. Das Nächste war, dafs Guericke ein bestimmtes Luftquantum wog, indem er die Gewichtsdifferenz

[1]) Einige wichtige Kapitel des „Über eigene Versuche" betitelten Buches bilden mit den erforderlichen Erläuterungen den 13. Abschnitt des I. Bandes.

[2]) Auf der ersten Seite der Vorrede.

[3]) Ostwalds Klassiker Nr. 59, Seite 11.

[4]) l. c. Seite 16 ff.

zwischen dem mit Luft gefüllten und dem evakuierten Recipienten feststellte[1]). Von einem trefflichen Beobachtungsvermögen zeugt es, dafs ihm die geringen durch die Änderungen des aërostatischen Auftriebs veranlafsten Schwankungen im Gewichte seines evakuierten Recipienten nicht entgingen. Die 3. Abbildung seiner 10. Kupfertafel[2]) illustriert den bezüglichen Versuch. Der gänzlich evakuierte Recipient L wurde mit einem an Volum viel kleineren Metallkörper ins Gleichgewicht gebracht. Als Guericke diese Vorrichtung längere Zeit hindurch beobachtete, fand er, dafs der Recipient bald höher, bald tiefer stand. Er bemerkt hierzu ganz richtig, dafs beim Eintauchen des ganzen Apparats in Wasser der Recipient in diesem dichteren Medium viel leichter erscheinen und erheblich in die Höhe gehen würde[3]). Sein Apparat lieferte somit den Beweis, dafs diese unter dem Namen des Auftriebs bekannte und schon von Archimedes erforschte Erscheinung auch für gasförmige Medien Gültigkeit besitzt.

Diejenigen Versuche mit der Luftpumpe, welche im heutigen physikalischen Unterricht vorgeführt werden, rühren gleichfalls fast sämtlich von Guericke her. Er wies z. B. nach, dafs der Schall sich im Vakuum nicht fortpflanzt[4]), während das Licht ungehindert durch dasselbe hindurchgeht. Tiere starben in dem entleerten Recipienten nach kurzer Zeit. Fische mit allseitig geschlossener Schwimmblase schwollen infolge der Expansivkraft der darin befindlichen Luft zunächst bedeutend an, während bei solchen Fischen, deren Schwimmblase einen Ausführungsgang nach dem Schlunde hin besitzt, die Luft infolge derselben Ursache beim Evakuieren sofort zu entweichen begann. Guericke zeigt dann weiter, dafs auch das Feuer wie der Lebensprozefs im Vakuum erlischt. Er macht ferner die Beobachtung, dafs bei der Verbrennung Luft verzehrt wird. Eine Kerze, welche in einem allseitig geschlossenen Recipienten brannte, erlosch nämlich, sobald der zehnte Teil der Luft verbraucht war[5]). Bei der Diskussion dieses Versuches zeigt Guericke, wie klar und vorurteilsfrei er denkt. Zunächst wirft er die Frage auf, warum das Erlöschen so früh eintritt und nicht das ganze Luftquantum anstatt eines

1) Ostwalds Klassiker Nr. 59, Seite 64.
2) Siehe Bd. I, Fig. 7.
3) Ostwalds Klassiker Nr. 59, Seite 63.
4) Ostwalds Klassiker Nr. 59, Seite 46.
5) a. a. O. Seite 45.

Zehntels aufgezehrt wird. Als Grund giebt er an, dafs die Luft durch die Produkte der Verbrennung verunreinigt werde. Die weitere Frage, ob das Feuer die Luft derartig verzehrt, dafs es letztere vernichtet, oder ob es dieselbe in eine andere Substanz verwandelt, entscheidet Guericke in letzterem Sinne, obschon diese Substanz so fein angenommen werden müsse, dafs man sie auf keine Weise wahrnehmen könne.

Auch die erste, zwar noch sehr einfache Elektrisiermaschine rührt von Guericke her. Dieselbe findet sich gleichfalls in seinem Werke „De vacuo spatio“ abgebildet (siehe Fig. 35) und beschrieben. Zu ihrer Herstellung füllte er einen Glasrecipienten mit geschmolzenem Schwefel. Nach dem Erkalten wurde das Gefäfs




Fig. 35. Guerickes Elektrisiermaschine[1]).

zerschlagen und die so erhaltene Schwefelkugel auf eine Achse gesteckt, welche auf zwei Stützen ruhte. Als Reibzeug diente die trockene Hand, ein Konduktor fehlte noch. Immerhin war es die erste maschinelle Vorrichtung zur Erzeugung von Elektricität. Die Kugel zog Papier, Federn, Blattgold und andere leichte Gegenstände an und führte sie mit sich herum. Wassertropfen, welche man in ihre Nähe brachte, gerieten in eine aufwallende Bewegung.

Vermittelst dieser Maschine entdeckte Guericke auch die von Gilbert noch übersehene Abstofsung gleichnamig elektrisierter Körper. Ferner bemerkte er, dafs ein von der Kugel ab-

[1]) Otto von Guericke, De vacuo spatio. 1672. Tafel XVIII. Fig. V.

gestoſsener Körper wieder angezogen wird, nachdem derselbe mit dem Finger oder mit dem Boden in Berührung gekommen ist. Brachte man z. B. eine Feder zwischen die elektrisierte Kugel und den Fuſsboden, so hüpfte dieselbe auf und nieder. Auch daſs sich die Elektricität der Kugel vermittelst eines leinenen Fadens fortleiten läſst, wurde von Guericke nachgewiesen.

Aus dieser Darstellung geht zur Genüge hervor, daſs wir es in Guericke mit einem Manne von auſserordentlichem Beobachtungsvermögen und hervorragendem Geschick zu thun haben. Zumal für Deutschland, dessen gelehrte Kreise weit mehr der Spekulation als dem exakten Forschen zugethan waren, ist Guerickes Beispiel von nachhaltiger Wirkung gewesen.

Von einem Zeitalter, das sich mit solcher Energie und solchem Erfolge der experimentellen Forschung zuwandte wie das 17. Jahrhundert, ist zu erwarten, daſs auch die Chemie um manche wichtige Entdeckung bereichert wurde, wenn auch diese Wissenschaft erst weit später diejenige Stufe erreichte, auf welche ihre ältere Schwester, die Physik, durch Galilei und seine Zeitgenossen erhoben ward.

Wir verlieſsen die Chemie an dem Punkte ihrer Entwicklung, zu welchem sie durch Basilius Valentinus und Paracelsus gelangt war. Ihr bisheriges Ziel, den Stein der Weisen und mit Hülfe desselben Gold zu bereiten, trat im Verlauf des 16. Jahrhunderts gegen dasjenige, Präparate zur Heilung von Krankheiten herzustellen, immer mehr zurück. Letztere Richtung erreichte ihren Höhepunkt in dem Niederländer van Helmont (1577 bis 1644).

Ein Verdienst van Helmonts besteht darin, daſs er zum erstenmale die Verschiedenartigkeit der luftförmigen Körper hervorhob, sowie den Begriff und die Bezeichnung „Gas" einführte. Vor ihm hatte man trotz ihrer augenfälligen Verschiedenheit Wasserstoff, Schwefeldioxyd, Kohlendioxyd und atmosphärische Luft für wesentlich ein und dasselbe Ding gehalten. Am genauesten hat van Helmont die Eigenschaften des Kohlendioxyds erforscht. Er zeigte, daſs dies Gas sich aus Kalkstein, sowie aus Pottasche durch Übergieſsen mit Säuren entwickeln läſst und mit dem Verbrennungsprodukt der Kohle identisch ist. Auch daſs sich Kohlendioxyd in Mineralwässern findet und bei der Gärung entsteht, war ihm bekannt.

Die Erkenntnis, daſs es kein Entstehen und Vergehen der Stoffe giebt, regte sich gleichfalls bereits im Geiste van Helmonts.

So lehrte er, dafs das Kupfer, welches aus dem blauen Vitriol durch Zusatz von Eisen abgeschieden wird, nicht etwa neu geschaffen sei. Auch das Silber läfst er in den Salzen fortbestehen. Trotz alledem beschäftigt ihn das alchemistische Problem, ja dieses gewinnt infolge des Ansehens, welches van Helmont geniefst, wieder erhöhte Beachtung. Auch seine Lehre, dafs das Wasser der Hauptbestandteil aller Stoffe sei, steht zu seinen vorgeschrittenen chemischen Kenntnissen in einem gewissen Gegensatz. Diese Ansicht war bei ihm jedoch kein blofses Philosophem wie bei Thales und seinen Anhängern, sie stützte sich vielmehr auf wenn auch irrtümlich gedeutete Beobachtungen und Versuche. Van Helmont hatte nämlich 200 Pfund Erde in einem irdenen Gefäfse abgewogen und in diese einen 5 Pfund schweren Weidenstrauch gepflanzt. Letzterer wurde nur mit Regenwasser begossen, während das Gefäfs durch einen Deckel verschlossen blieb. Nach Verlauf von 5 Jahren wog die Weide 169 Pfund, während das Gewicht der Erde nur um wenige Unzen abgenommen hatte.

Die hervorragendste Förderung erfuhr die Chemie während des 17. Jahrhunderts durch den Engländer Boyle (1626—1691). Er war der erste, welcher die wahre Aufgabe dieser Wissenschaft in der Erkenntnis der stofflichen Zusammensetzung der Körper erblickte. Mit der Aufstellung dieses Zieles begann für die Chemie ein neues Zeitalter. Indem Boyle als letzte Bestandteile, als Elemente im Sinne der modernen Wissenschaft, diejenigen Stoffe ansprach, welche keiner weiteren Zerlegung fähig sind, war das Schicksal der Aristotelischen Elemente (Feuer, Erde, Luft und Wasser), sowie der Prinzipien der Alchemisten (Salz, Schwefel und Quecksilber) besiegelt. Auch der Unterschied zwischen mechanischer Mischung und chemischer Verbindung wurde von Boyle zum erstenmale scharf hervorgehoben. Als charakteristisch für die Bildung der letzteren stellt er das Verschwinden der Eigenschaften der Bestandteile hin.

Anknüpfend an den vorstehend beschriebenen Versuch van Helmonts destillierte Boyle Regenwasser aus Glasgefäfsen. Er fand stets einen Rückstand und glaubte damit gleichfalls bewiesen zu haben, dafs sich das Wasser in erdige Bestandteile verwandeln lasse. Erst durch Lavoisier und Scheele wurde der wahre Sachverhalt aufgeklärt und die Ansicht, dafs das Wasser eine derartige Umwandlung erfahren könne, als unhaltbar nachgewiesen.

Ein zweiter wichtiger Versuch, an welchen Lavoisier bei der Begründung der neueren Chemie anknüpfen konnte, betrifft die

Verkalkung (Oxydation) der Metalle beim Erhitzen an der Luft. Boyle schmolz Zinn und Blei in verschlossenen, mit Luft gefüllten Gefäfsen. Er wies nach, dafs der so erhaltene Metallkalk schwerer ist als das dem Versuche unterworfene Metall. Um diese Erscheinung zu erklären, nahm Boyle an, dafs ein besonderer Stoff das Glas durchdringe und sich mit dem Metall verbinde. Ein anderer hypothetischer, von Lavoisier später als unhaltbar erkannter Stoff, das Phlogiston, erhielt bei den auf Boyle folgenden Chemikern eine solche Bedeutung, dafs das von Boyle bis Lavoisier reichende Zeitalter der Chemie das phlogistische genannt wurde.

Durch die unermüdliche Forscherthätigkeit Boyles, dem seine Landsleute mit Recht den Beinamen des grofsen Experimentators gegeben haben, wurde auch der Zweig der analytischen Chemie begründet. Bisher hatte man sich bei qualitativen Untersuchungen wesentlich auf das sogenannte trockene Verfahren beschränkt, welches heute vorzugsweise bei der Vorprüfung, sowie bei der Bestimmung von Mineralien Anwendung findet. Boyle lehrte die in Lösung gebrachte Substanz mit Hülfe flüssiger Reagentien untersuchen, indem er aus Entstehung und Beschaffenheit der Niederschläge auf die Zusammensetzung schlofs. So wies er Salzsäure mittelst Silberlösung und Schwefelsäure durch Kalksalze nach. Er fällte Eisen durch Galläpfeltinktur und bediente sich zum Nachweise der Säuren mit Pflanzensäften gefärbter Papiere.

Auch um die Erforschung der gasförmigen Körper hat Boyle sich grofse Verdienste erworben. Sobald die Kunde von der Erfindung Guerickes zu ihm gedrungen war, begab er sich an die Herstellung einer Luftpumpe, welche in mehrfacher Hinsicht den von Guericke benutzten Apparat übertraf. Im Jahre 1660 veröffentlichte Boyle seine „Neuen Versuche“[1]), die sich indes zum Teil mit den „Magdeburgischen“ deckten, zum Teil aber auch die Bezeichnung „neu“ verdienten. Erwähnt sei die Beobachtung, dafs erwärmtes Wasser unter dem Recipienten zu kochen beginnt, womit die Abhängigkeit des Siedepunktes von dem auf der Flüssigkeit lastenden Druck dargethan war. Boyle war ferner der erste, der die einfache Beziehung erkannte, welche zwischen dem

---

[1]) New experiments, Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air and its Effects made in the most part in a new pneumatical engine. Oxford 1660. Ein Jahr später erschien eine lateinische Übersetzung unter dem Titel: Nova experimenta de vi aeris elastica.



Druck und dem Volumen eines Gases herrscht. Er schlofs 12 Kubikzoll Luft durch Quecksilber in dem kürzeren Schenkel einer V-förmig gebogenen Röhre ab (siehe Fig. 36). In dem Mafse, in welchem Quecksilber in den längeren, offenen Schenkel nachgegossen wurde, verringerte sich das Volumen des abgesperrten Gasquantums. Bei einem Drucke von zwei Atmosphären nahm es nur noch 6 Kubikzoll, bei drei Atmosphären 4 Kubikzoll (1/3 des ursprünglichen Volumens) ein, oder, wie Boyle es aussprach, die Luft verdichtete sich im Verhältnis der zusammendrückenden Kraft.

Dieses Grundgesetz der Aëromechanik[1]) wurde geraume Zeit später durch den Franzosen Mariotte (1620—1684) selbständig aufgefunden. Der I. Band dieses Grundrisses enthält die vorzügliche Darstellung, welche Mariotte in der „Abhandlung über die Natur der Luft“[2]) von seiner Entdeckung gegeben hat. Während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts lag, wie dieser Abschnitt lehrte, der Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit auf dem Gebiete der Mechanik. Erst nachdem man die Gesetze festgestellt, welche das Verhalten der festen, flüssigen und gasförmigen Körper regeln, war eine Grundlage für die weitere Erforschung alles Geschehens geschaffen. Diesen Versuch einer mechanischen Erklärung der Natur unternimmt das nachfolgende Zeitalter, dessen bedeutendste That die Begründung der Mechanik des Himmels durch Newton ist.

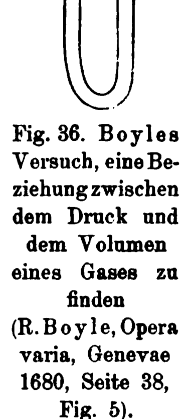


Fig. 36. Boyles Versuch, eine Beziehung zwischen dem Druck und dem Volumen eines Gases zu finden (R. Boyle, Opera varia, Genevae 1680, Seite 38, Fig. 5).

## 3. Das Zeitalter Newtons.

Galilei hatte in einem an Keppler gerichteten Briefe die Befürchtung ausgesprochen, dafs auf den das 17. Jahrhundert kennzeichnenden wissenschaftlichen Aufschwung vielleicht eine Zeit des Stillstandes und des Verfalls eintreten werde. War doch auf

---

1) Mitgeteilt von Boyle in seiner Schrift gegen Linus, Defensio contra Linum London 1662. Cap. V. Opera Varia, Genf 1680, Seite 42 ff.

2) Mariotte, Essai sur la nature de l'air. 1679. Siehe auch Bd. I, Seite 89.

die Blüteperiode der griechischen Wissenschaft eine Brache von vielen Jahrhunderten gefolgt. Diese Befürchtung Galileis erwies sich zum Glück als grundlos. Die Wissenschaft war zu einem Gemeingut der civilisierten Menschheit geworden; sie war nicht mehr an das Schicksal eines Volkes gebunden, wie es im Altertum und Mittelalter der Fall gewesen. Während auf dem Boden Italiens rückwärts gerichtete Bestrebungen ihren Fortschritt hemmten, gelangte sie vornehmlich in England und in Frankreich zur Entfaltung. Nach dem Vorbild der Accademia del Cimento entstanden auch in den nördlichen Ländern Europas gelehrte Gesellschaften, welche, gefördert durch reiche Mittel, sowie die Gunst der Monarchen, für die weitere Entwicklung von grofser Bedeutung wurden. Ein wesentlicher Vorteil derartiger Vereinigungen bestand darin, wie später Laplace[1]) so treffend hervorhob, dafs der philosophische Geist, der sich in ihnen entwickelte, die Bevölkerung und alle Gegenstände durchdrang. „Während der einzelne Gelehrte sich leicht dem Dogmatisieren hingiebt, führt in einer gelehrten Gesellschaft der Zusammenprall dogmatischer Ansichten sehr bald zu einer Zerstörung der letzteren. Der Wunsch, sich gegenseitig zu überzeugen, ruft ferner notwendigerweise unter den Mitgliedern die Übereinkunft hervor, nichts anderes als die Resultate der Beobachtung und Rechnung anzunehmen.“

In der Pflege dieses Geistes zeichneten sich vor allem die von Ludwig XIV. im Jahre 1666 gegründete Pariser Akademie, sowie die Royal Society[2]) in London aus. Letztere Vereinigung wurde von einer Anzahl englischer Forscher im Jahre 1645 ins Leben gerufen, um, wie die Stifter sagten, in der Unterhaltung über naturwissenschaftliche Gegenstände, Trost über das Elend des Landes zu suchen. Das bedeutendste Mitglied der Royal Society war Newton, mit dessen Lebensgang und wissenschaftlichen Thaten wir uns zunächst befassen müssen. In ihm finden nämlich die beiden Hauptstämme der neueren Naturwissenschaft, die Astronomie in der Gestalt, die Keppler ihr gegeben, und die Mechanik, wie sie aus dem Haupte Galileis hervorging, ihren Zusammenschlufs und ihre Fortentwicklung.

---

[1]) Laplace, Précis de l'histoire de l'astronomie. Paris 1821. p. 99.

[2]) Die Royal Society veröffentlichte ihre Arbeiten seit dem Jahre 1665 unter dem Titel Philosophical Transactions, denen z. B. der im I. Bande dieses Grundrisses mitgeteilte Bericht Davys über die Entdeckung des Kaliums und Natriums entnommen ist (siehe Bd. I, Seite 245).



Isaac Newton[1]) wurde am 5. Januar 1643 zu Woolsthorpe, einem in der Grafschaft Lincolnshire gelegenen Dorfe, geboren. Sein Vater, welcher daselbst Landwirtschaft betrieb, war einige Monate vor der Geburt des Sohnes gestorben. Die Mutter hegte nun den Wunsch, daſs letzterer das kleine Besitztum, welches sie ihr eigen nannte, später übernehmen möchte. Newton wurde auf die Schule zu Grantham, einem wenige Meilen von Woolsthorpe entfernten Städtchen geschickt. Sein Lerneifer war zunächst gering. Mit besonderer Vorliebe beschäftigte er sich mit der Herstellung mechanischer Vorrichtungen; so entstanden Windmühlen, Sonnen- und Wasseruhren, Treträder u. s. w. Auch in anderer Hinsicht zeigte sich die Eigenart Newtons, der an den Spielen der Jugendgefährten nur geringen Anteil nahm. Einst hatte ihn ein stärkerer fleiſsiger Mitschüler geschlagen. Newton suchte sich nun dadurch eine Art Genugthuung zu verschaffen, daſs er seinem Gegner den Rang in der Klasse ablief. Obgleich seine Leistungen bisher die schwächsten waren, gelang ihm dies in kurzer Zeit.

Als der Knabe mit 14 Jahren auf das kleine Gut der Mutter zurückkehrte, dessen Bewirtschaftung er übernehmen sollte, zeigte es sich, daſs er für die Geschäfte des praktischen Lebens nur geringes Geschick besaſs. Auf Anraten und mit Beihülfe seines Onkels, der ihn hinter einer Hecke mit der Lektüre eines geometrischen Buches beschäftigt gefunden hatte, wurde Newton deshalb nach Grantham zurückgeschickt. Mit 17 Jahren bezog er dann die Universität Cambridge. Hier studierte er zunächst die mathematischen Werke der Alten, insbesondere die Geometrie Euklids. Darauf fesselten ihn die Arbeiten der neueren Schriftsteller. Er las die mathematischen Schriften des Descartes, die Arithmetik von Wallis[2]), welche die Keime der später von Newton und Leibniz erfundenen Infinitesimalrechnung enthält, und die Dioptrik Kepplers. An

[1]) Eine ausführliche Biographie Newtons verfaſste Brewster: Life of Newton, London 1831. Übersetzt von B. M. Goldberg. Leipzig 1833. Neu bearbeitet erschien dies Werk unter dem Titel „Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton, Edinburg, 2 Bde., 1855, 2. Aufl. 1860. Siehe auch Snell, Newton und die mechanische Naturwissenschaft, Dresden, Leipzig, 1843.

[2]) Wallis, Arithmetica infinitorum sive nova methodus inquirendi in curvilineorum quadraturam. 1655. Wallis beschäftigt sich darin wie Cavalieri in seinen „Indivisibilien" vorzugsweise mit Quadraturen und Kubaturen, verfuhr anknüpfend an Descartes aber mehr rechnerisch, während Cavalieri seine Ableitungen so geometrisch als irgend möglich zu gestalten trachtete (siehe auch Cantors Geschichte der Mathematik II, 822).

alle diese Arbeiten anderer trat er jedoch mit einer Selbständigkeit des Denkens heran, wie sie nur hervorragende Geister auszeichnet. Eigene mathematische Untersuchungen leiten ihn noch während seiner Studienzeit zur Auffindung des allgemeinen binomischen Lehrsatzes. Auch nimmt er bereits, bevor er in Cambridge als letzten akademischen Grad die Magisterwürde erlangt, das Gravitationsproblem in Angriff [1]).

Geleitet von dem fruchtbaren Gedanken, die Identität der Schwere und der vom Erdcentrum aus auf den Mond wirkenden Kraft nachzuweisen, gelangte er indes damals noch nicht zum Ziele, weil ihm die seiner Rechnung zugrunde zu legenden Dimensionen der Erde nicht hinreichend genau bekannt waren. Die zu besprechende Gradmessung Picards [2]) verschaffte endlich seiner Ableitung die richtigen Unterlagen, sodafs erst 16 Jahre später jene Idee als zutreffend erwiesen werden konnte.

In den Beginn der wissenschaftlichen Thätigkeit Newtons fällt auch seine erste Beschäftigung mit der Optik. Wie auf Galilei, so wurde auch auf Newton die Mitwelt aufmerksam infolge seiner Verdienste um die Verbesserung des Fernrohrs. Man hatte bemerkt, dafs zwei Eigenschaften der Glaslinsen der Vervollkommnung dieses Instrumentes im Wege standen. Parallel einfallende Strahlen wurden nämlich nicht genau in einem Punkte vereinigt; ferner machten sich an den Bildern farbige Ränder bemerkbar. Beide Erscheinungen sind unter dem Namen der sphärischen und der chromatischen Abweichung bekannt. Da die letztere an den durch Hohlspiegel erzeugten Bildern nicht auftritt, so brachte Newton die von mehreren Seiten [3]) geäufserte Idee eines Spiegelteleskops zur Ausführung. Das durch einen sphärischen

1) Siehe Bd. I, 15. Abschnitt.

2) Siehe Seite 194 ds. Bds.

3) Zucchi 1616. Siehe Nicolai Zucchii Optica philosophica. Leyden 1652. Die bezügliche Stelle wird von Wilde in seiner Geschichte der Optik, Bd. I, Seite 308 angegeben. Zucchi machte auch, wie er an dieser Stelle mitteilt, den entsprechenden Fundamentalversuch, indem er das Licht der Gegenstände mit einem Hohlspiegel auffing und gleichzeitig eine Konkavlinse in passender Entfernung ans Auge brachte. Er wird deshalb von Wilde schon als der Erfinder des Spiegelteleskops bezeichnet (Wilde I, 308). Gregory beschränkte sich in seiner Optica promata vom Jahre 1663 (Seite 92 u. f.) auf den blofsen Vorschlag, das durch zwei Spiegel erzeugte Bild durch eine Linse zu betrachten. Die Ausführung dieses Gregoryschen Teleskops erfolgte erst ein Jahrzehnt später (1774) durch Hooke. Siehe die schematische Zeichnung in Wüllners Lehrbuch der Experimentalphysik II, 344.

Hohlspiegel (aqsb) erzeugte Bild wurde von einem schräg gestellten Planspiegel (fg) seitwärts reflektiert und durch eine in der Seitenwand angebrachte Linse (h) betrachtet (siehe Fig. 37).

Das erste im Jahre 1668 verfertigte Spiegelteleskop war nur 6 Zoll lang. Man war jedoch imstande, vermittelst desselben die Monde des Jupiter, sowie die Lichtphasen der Venus zu erkennen. Einige Jahre später[1]) sandte Newton ein zweites gröfseres Instrument an die Royal Society. Dasselbe fand deren Beifall und erregte auch die Bewunderung des Hofes. Dieses Instrument wird noch heute in der Bibliothek jener Gesellschaft aufbewahrt. Es trägt die Inschrift:

Invented by Sir Isaac Newton
and made with his own hands.
1671.

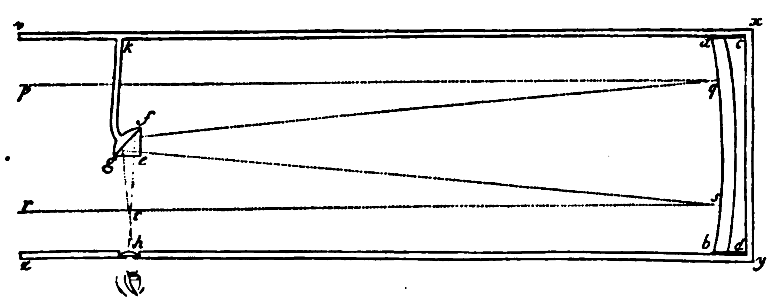


Fig. 37. Newtons Zeichnung seines Spiegelteleskops[2]).

Das Verdienst des genialen Erfinders, der seit dem Jahre 1669 die Professur der Mathematik in Cambridge bekleidete, wurde dadurch anerkannt, dafs man ihn in die Royal Society aufnahm, deren Vorsitz er in späteren Jahren führte.

Von weit gröfserem Belang als dieser in erster Linie der Praxis dienende Erfolg war die Förderung, welche die theoretische Optik durch Newton erfuhr. Mit der Untersuchung der Brechung des Lichtes hatten sich schon die Alten, sowie unter den Neueren besonders Keppler[3]) und Snellius[4]) abgegeben. Eine Vertiefung von grofser Tragweite erfuhr dieses Problem, als Newton das Augenmerk auf die bis dahin nicht weiter verfolgte Erscheinung der Farbenzerstreuung richtete. Sämtliche fundamentalen Versuche,

1) 1672.
2) Newton Optics. London 1721. Book I. Part. I. Tab. V. Fig. 29.
3) Siehe Seite 166 ds. Bds.
4) Siehe Seite 167 ds. Bds.

welche dieses Gebiet betreffen, rühren von ihm her und sind dem Leser zum Teil schon durch die Lektüre des ersten Bandes bekannt geworden[1]).

Den Ausgangspunkt der Untersuchung bildete der Nachweis, dafs Licht verschiedener Farbe einen verschiedenen Grad der Brechbarkeit besitzt[2]). Ein rechteckiges Stück Papier wurde durch eine senkrechte Linie in zwei Abschnitte zerlegt. Der eine dieser Abschnitte wurde intensiv rot, der andere blau gefärbt. Betrachtete man darauf das Papier durch ein Prisma, dessen brechende Kante nach oben gerichtet war, so erschien die blaue Hälfte mehr gehoben als die rote.

Dafs der blaue Teil des Sonnenspektrums gleichfalls in stärkerem Mafse gebrochen wird als der rote, zeigte Newton durch folgenden Versuch (siehe Band I, Fig. 9). Er liefs alle Teile des Sonnenspektrums in derselben Richtung nacheinander auf ein in fester Stellung befindliches Prisma (a b c) fallen. Jeder Teil wurde abgelenkt, doch nahm die Brechbarkeit vom roten nach dem blauen Ende des Spektrums in Übereinstimmung mit dem vorigen Versuche zu.

Durch Mischung sämtlicher Spektralfarben liefs sich ferner das weifse Sonnenlicht in seiner vollen Ursprünglichkeit wieder herstellen. Newton zeigte dies durch den in Fig. 10 des I. Bandes erläuterten Versuch. Fielen nämlich sämtliche Teile des Spektrums auf eine Linse, so wurden sie im Brennpunkt derselben zu weifsem Licht vereinigt. Da die Strahlen jedoch von diesem Punkte wieder auseinandertreten, so mufste man in der Nähe des Fokus ein Prisma (E D G) einschalten, welches alle in die parallele Richtung zwang und einen vollkommen weifsen Strahl lieferte. Brechung und Farbenzerstreuung des zusammengesetzten Lichtes hielt Newton auf Grund dieser Versuche für zwei stets miteinander verknüpfte Vorgänge. Daraus entsprang in ihm die Überzeugung, dafs es kein Mittel gäbe, den Fehler der chromatischen Abweichung zu beseitigen. Trotzdem erhob sich in der Folge ein Wettkampf zwischen dem dioptrischen Fernrohr und dem Spiegelteleskop. Indem man jenen Fehler dadurch zu verringern suchte, dafs man der Objektiv-

[1]) Siehe Bd. I, Seite 69.

[2]) Optics or a treatise of the reflections, refractions, inflections and coulours of light. London 1704. 1. Buch. 1. Teil. 1. Versuch. Das erste Buch von Newtons Optik wurde, als 96. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, übersetzt und herausgegeben von W. Abendroth. Wilhelm Engelmann. Leipzig. 1898.

linse eine sehr mäfsige Krümmung und dementsprechend eine bedeutende Brennweite gab, nahm das Fernrohr immer gröfsere Dimensionen an. Schliefslich verzichtete man auf eine feste Verbindung der beiden Linsen: es entstand das sogenannte Luftfernrohr, bei welchem der Abstand des Objektivs vom Okular 100 Fufs und mehr betrug. Auch der Reflektor erreichte später infolge der Bemühungen William Herschels die ansehnliche Länge von 40 Fufs[1]). Wie die durch Euler angebahnte Erfindung der achromatischen Linse dem Refraktor endgültig zum Siege verhalf und das Irrtümliche der Newtonschen Voraussetzung aufdeckte, wird der Gegenstand späterer Betrachtungen sein.

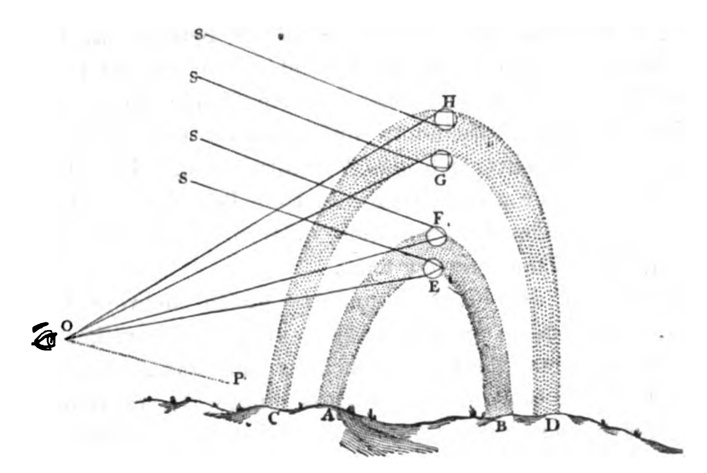



Fig. 38. Newton erklärt das Zustandekommen des Regenbogens[2]).

Eine weitere Folge von Newtons Spektraluntersuchungen war seine Theorie vom Regenbogen, durch welche ein Jahrtausende altes Rätsel gelöst wurde. Aristoteles hatte dieses Phänomen aus der Spiegelung zu erklären gesucht, während die arabischen Optiker dasselbe auf die Brechung des Lichtes zurückgeführt hatten. Nachdem dann Snellius das Refraktionsgesetz gefunden, vermochte Descartes die Erscheinung des Regenbogens theoretisch und experimentell soweit zu analysieren, dafs nur noch das Auf-

[1]) Der Spiegel hatte einen Durchmesser von 4 Fufs und wog 2000 Pfund. Herschel lieferte eine Beschreibung dieses Fernrohrs in den Philos. Transact. 1795. II, pg. 347. Das Teleskop des Earl of Rosse vom Jahre 1845 besafs sogar eine Länge von 16,6 und einen Spiegeldurchmesser von 1,82 Metern.

[2]) Newton, Optics, London 1721. Book I. Part. II. Tab. IV. Fig. 15.

treten der Farben zu erklären blieb. Letzteres geschah durch Newton. Die seiner „Optik" entnommene Figur 38 stellt den inneren und den äufseren Regenbogen, sowie den Gang der Lichtstrahlen durch im roten und im violetten Teile befindliche Tropfen dar. Man erkennt, dafs im inneren Bogen eine einmalige, im äufseren dagegen eine doppelte Reflexion an der Wand der Tropfen stattfindet. Dies hatte schon Descartes angenommen, um zu erklären, dafs der äufsere Bogen lichtschwächer ist. Newton zeigte nun, wie von dem Tropfen E, dessen Winkelabstand von dem gemeinschaftlichen, in der Verlängerung der Linie OP liegenden Mittelpunkt der beiden Bögen 40° 17′ beträgt, der violette Teil des Spektrums nach dem Auge des Beobachters gelangt. Der Tropfen F dagegen, dessen Abstand 42° 2′ beträgt, wird Strahlen geringerer Brechbarkeit zum Auge senden, wie aus der Figur schon ohne weiteres ersichtlich ist. Diejenige ringförmige Zone, in welcher sich der Tropfen F befindet, mufs deshalb rot erscheinen. Im äufseren Bogen kehrt sich das Verhältnis um. Der Tropfen H sendet den stärker abgelenkten violetten Teil des Spektrums zum Auge, während das Rot von der inneren durch den Tropfen G repräsentierten Zone erzeugt wird.

Im Verlauf des 17. Jahrhunderts waren mehrere bisher unbekannte Phänomene in den Gesichtskreis der Physiker getreten. Bartholin hatte die Doppelbrechung am isländischen Kalkspat, Grimaldi die Beugung des Lichtes entdeckt, während Hooke sich zuerst mit den Farben dünner Blättchen beschäftigte. Dadurch war eine Fülle neuer Probleme auf dem Gebiete der Optik gegeben. Zwar blieb die theoretische Lösung derselben einem späteren Zeitalter vorbehalten; ihre experimentelle Erforschung indes hat Newton gleichfalls in erheblichem Mafse gefördert.

Der italienische Mathematiker Grimaldi (1618—1663) hatte seine Beobachtungen über die Natur des Lichtes in einem Werke[1]) zusammengefafst, das im Jahre 1665, zu jener Zeit, als Newton seine Untersuchungen begann, veröffentlicht wurde. In diesem Werke findet sich nicht nur die erste Beschreibung des durch ein Prisma erzeugten Sonnenspektrums[2]), es wird darin auch über merkwürdige Erscheinungen berichtet, welche dem Gesetz der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu widersprechen schienen und mit dem Namen der Beugung belegt wurden.

[1]) Grimaldi, Physico-Mathesis de lumine, coloribus et iride. Bologna 1665.
[2]) l. c. S. 235 u. f.

Grimaldi liefs das Sonnenlicht durch eine feine Öffnung in ein dunkles Zimmer fallen und brachte in das so erhaltene Lichtbündel einen undurchsichtigen Körper (siehe Fig. 39)[1]. Fing man vermittelst eines Schirmes CD den Schatten auf, so besafs derselbe eine gröfsere Breite (MN), als der Konstruktion entsprach, und war von farbigen Streifen umgeben, welche seiner Begrenzung parallel liefen und sich auch in das Innere des Schattens erstreckten. Diese Erscheinung, welche offenbar mit der infolge der Brechung auftretenden Farbenzerstreuung nicht identisch ist, veranlafste Grimaldi, das Licht als eine wellenförmige Bewegung zu betrachten. „Wie sich um einen Stein, den man ins Wasser wirft, kreisförmige Wellen bilden", sagt er, „ebenso entstehen um den Schatten des undurchsichtigen Gegenstandes jene glänzenden Streifen[2]." Wir finden hier die erste Andeutung der Undulationstheorie, welche in der neuesten Zeit zur vollen Geltung gelangt ist, da sie nicht nur sämtliche Lichterscheinungen erklärt, sondern in manchen Fällen sogar neue bisher nicht gekannte Phänomene vorherzusagen gestattete.

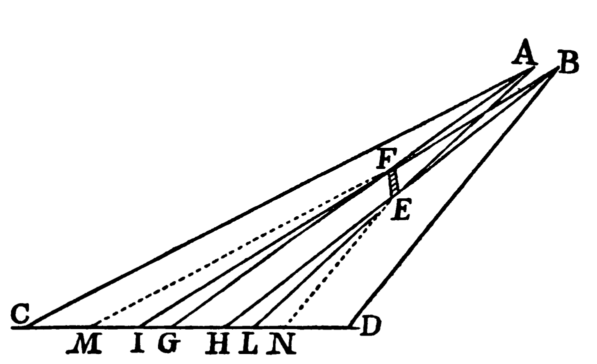



Fig. 39. Grimaldi, Physico-Mathesis, 1665, S. 2.

Die ersten Anhänger jener, die Allverbreitung eines aufserordentlich elastischen Mediums voraussetzenden Wellentheorie waren Hooke und Huygens. Letzterer hat dieselbe besonders klar entwickelt[3] und wird mit Recht als ihr eigentlicher Begründer bezeichnet. Manche Äufserungen Newtons weisen darauf hin, dafs er dieser Theorie durchaus nicht ihre Berechtigung absprach. Dennoch sah er sich veranlafst, seine eigenen Erklärungen auf die Annahme zu stützen, dafs das Licht ein Stoff sei, welcher von dem leuchtenden Körper ausgesandt wird. Während nämlich beide

---

1) l. c. S. 2.

2) Grimaldi, Physico-Mathesis, pag. 18.

3) Siehe Bd. I, Abschnitt 16, der einen Auszug aus Huygens Abhandlung über das Licht bringt.

Lehren, die Undulationstheorie, sowie die von Newton begründete Emissionstheorie, die Erscheinungen der Reflexion und der Brechung zu deuten vermochten, war die erstere in der Fassung, welche Huygens ihr gegeben, noch nicht imstande, das Auftreten von Farben zu erklären. Nach der Annahme Newtons hingegen giebt es Lichtteilchen von verschiedener Gröfse. Trifft ein Strahl des weifsen Lichtes, in welchem alle Gröfsen vertreten sind, in schräger Richtung auf einen durchsichtigen Körper, so werden die kleinsten, das Violett ausmachenden Teilchen durch eine von den Partikeln des Körpers ausgehende Anziehung in höherem Grade aus ihrer Richtung abgelenkt als die gröberen, die rote Farbe bedingenden. Zwischen beiden Extremen finden alle Übergänge statt, und so entsteht das zusammenhängende Farbenband des Spektrums. Um die Beugung und die gleich zu besprechenden Farben dünner Blättchen zu deuten, mufste Newton dem Lichtstoff wieder neue Eigenschaften beilegen, sodafs seine Hypothese mit jedem hinzutretenden Erklärungsversuch an Kompliziertheit wuchs, ein Umstand, der von vornherein nicht gerade zu ihren Gunsten sprach. Gestützt auf die gewaltige Autorität ihres Urhebers hat sich die Emissionstheorie dennoch, obgleich von verschiedenen Seiten, insbesondere von Euler[1]), auf ihre Schwächen hingewiesen wurde, durch das ganze 18. Jahrhundert behauptet.

Ein weiteres Feld für optische Untersuchungen hatten die Arbeiten Hookes über die Farben dünner Blättchen erschlossen. Robert Hooke wurde im Jahre 1635 auf der Insel Wight geboren und starb am 3. März 1703 in London. Er war Mitglied der Royal Society und zeichnete sich durch eine Vielseitigkeit aus, welche ihn indes leider von dem beharrlichen Verfolgen eines Grundgedankens abzog. An Hookes Bemerkungen über die Natur des Lichtes knüpfte Huygens die ausführliche Darstellung der Undulationstheorie. In seiner Schrift über die Bewegung der Erde[2]) streift Hooke an die Entdeckung des Gravitationsgesetzes. ‚Ich werde", heifst es dort, „ein Weltsystem erklären, welches in jeder Beziehung mit den bekannten Regeln der Mechanik übereinstimmt. Dasselbe beruht auf drei Annahmen: Erstens, dafs alle Himmelskörper ohne Ausnahme eine gegen ihren Mittelpunkt gerichtete Anziehung oder Schwerkraft besitzen, wodurch sie nicht blofs ihre eigenen Teile, sondern auch alle, innerhalb ihrer Wirkungs-

[1]) Siehe den 26. Abschnitt des I. Bandes.

[2]) Hooke, An attempt to prove the motion of the earth. London 1674. S. 27 und 28.



sphäre befindlichen Himmelskörper anziehen. Die zweite Voraussetzung ist die, dafs alle Körper, welche in eine geradlinige und gleichförmige Bewegung versetzt werden, sich so lange in gerader Linie fortbewegen, bis sie durch irgend eine Kraft abgelenkt und in eine Bahn gezwungen werden, welche einem Kreise, einer Ellipse oder einer anderen nicht so einfachen krummen Linie entspricht. Nach der dritten Hypothese sind die anziehenden Kräfte um so stärker, je näher ihrem Sitz der Körper ist, auf den sie wirken. Welches die verschiedenen Grade der Anziehung sind, habe ich noch nicht durch Versuche feststellen können. Aber es ist ein Gedanke, der, wenn er weiter verfolgt wird, den Astronomen in den Stand setzen mufs, alle Bewegungen der Himmelskörper nach einem gewissen Gesetz zu bestimmen." An diese Ausführungen wird der Wunsch geknüpft, dafs jemand diesen Gedanken verfolgen möge, da der Autor selbst durch andere Dinge zu sehr in Anspruch genommen sei. Hookes Arbeiten, welche zu den optischen Untersuchungen Newtons hinüberführen, finden sich in seiner Mikrographie[1]), einem Werke, das auch in naturhistorischer Hinsicht von besonderem Interesse ist, weil darin die ersten Beobachtungen über den zelligen Bau der Pflanzen mitgeteilt werden. „Dicke Glimmerblättchen", heifst es dort[2]), „sind farblos. Mache ich dieselben durch Spaltung immer dünner, so zeigt sich zuletzt jedes Blättchen schön gefärbt; dringt in die Spalten Luft ein, so zeigen sich Regenbogenfarben. Beim Zusammenpressen von Glasplatten entstehen Erscheinungen derselben Art."

Hooke führt ganz im Sinne unserer heutigen Theorie die Entstehung dieser Farben auf eine „Verwirrung" der an den Grenzflächen der dünnen Schicht reflektierten Schwingungen zurück. Sein Mühen, Beziehungen zwischen der Dicke der die Interferenzerscheinungen veranlassenden Schicht und den erzielten Wirkungen zu finden, blieben jedoch erfolglos. An diesem Punkte setzten die Untersuchungen Newtons ein. Letzterer legte eine Linse, deren Krümmungshalbmesser 50 Fufs betrug, auf eine ebene Glasplatte. Um die Berührungsstelle bildeten sich die den Farben dünner Blättchen analogen Newtonschen Ringe, welche im einfachen Licht nur in einer Folge von hell und dunkel bestanden, während das auf die Platte fallende Sonnenlicht die Spektralfarben hervor-

---

1) Hooke, Micrographia or some philosophical descriptions of minute bodies. London 1665.

2) Micrographia, Observat. IX: Of the Colours observable in Muscovy Glafs and other thin Bodies.

rief. Aus der Krümmung der Linse und dem Abstand der Ringe vom Berührungspunkte berechnete Newton die jeder Farbe entsprechende Tiefe der Luftschicht. Für das Gelb eines jeden Farbenringes verhielten sich die berechneten Werte wie 1 : 3 : 5 : 7 ... während für die zwischen den gelben Zonen liegenden dunklen Partien die Dicke der Schicht dem Verhältnis 2 : 4 : 6 ... entsprach. Es ergab sich somit auf Grund mühevoller Messungen und Berechnungen das einfache Gesetz, dafs die den hellen und dunklen Stellen entsprechenden Tiefen des vom Glase eingeschlossenen Mediums sich wie die natürlichen Zahlen verhalten[1]).

Wie den Betrachtungen Hookes verhielt sich Newton auch den Versuchen Grimaldis gegenüber. In beiden Fällen ergänzte er die Arbeiten seiner Vorgänger durch genaue Messungen und lieferte dadurch wertvolles Material zur festeren Begründung der Undulationstheorie, welche später an die Stelle seiner eigenen, unzutreffenden Ansichten über die Natur des Lichtes treten sollte.

Seinen Höhepunkt erreichte Newtons Schaffen, als er den im Jahre 1666 erfolglos angestellten Versuch, die Bewegung der Himmelskörper aus den Gesetzen der Mechanik zu erklären, wieder aufnahm. Anlafs hierzu bot die ihm im Jahre 1682 während einer Sitzung der Royal Society zugehende Mitteilung, dafs Picard in Frankreich wesentlich andere Dimensionen für die Erdkugel erhalten habe, als man in England zur Zeit Newtons annahm. Jean Picard (1620—1682), ein Mitglied der französischen Akademie, hatte noch unter der Voraussetzung, dafs die Erde die Gestalt einer Kugel besitze, eine Gradmessung zwischen Amiens und Malvoisine ausgeführt[2]), bei welcher zum erstenmale mit Fernrohren versehene Winkelmessinstrumente Anwendung fanden. Picard hatte für den Breitengrad einen Wert von 70 englischen Meilen 57060 Toisen)[3]) erhalten, während Newton, welcher die von Snellius im Jahre 1617 ausgeführte Messung nicht kannte[4]), bei seiner 1666 angestellten Rechnung 60 englische Meilen für den Breitengrad angenommen hatte. Die mittlere Entfernung des Mondes war hinlänglich genau bekannt. Newton nahm dieselbe zu 60 Erdhalbmessern an. Das Stück, um welches der Mond in einer Minute

---

1) Newton, Optice, Lib. II. Pars. I. Observatio VI. S. 149 der Clarkeschen Ausgabe von 1740.

2) Picard, La mesure de la terre. Paris 1671.

3) 1 Toise = 6 frz. Fufs = 1,949 m.

4) Sie hatte für den Breitengrad 55072 Toisen ergeben. Siehe auch Bd. I, Seite 78.



infolge der auf ihn wirkenden Centripetalkraft von der Tangente seiner Bahn abgelenkt wird, ergab sich aus diesen Daten gleich 15 Fufs[1]). Unter der im Jahre 1666 gemachten Annahme hatte die Rechnung nur $13^1/_2$ Fufs ergeben, ein Wert, der keine einfache Beziehung zu dem an der Oberfläche der Erde von einem frei fallenden Körper in einer Minute durchlaufenen Wege erkennen liefs. Letzterer beträgt aber 5400 = 60 . 60 . 15 Fufs. Er ist also im Verhältnis des Quadrates der Entfernung gröfser als die zum Erdcentrum gerichtete Bewegung des Mondes, und in demselben Mafse ist es daher auch die auf den fallenden Körper wirkende Kraft. Die Centripetalkraft ergab sich folglich als mit der Schwere identisch, wenn man für die letztere voraussetzte, dafs ihre Abnahme dem Quadrate der Entfernung entspricht. Damit war ein Gesetz von der gröfsten Allgemeingültigkeit aufgefunden, welches man mit Recht als das Weltgesetz bezeichnet hat.

Als Newton die soeben mitgeteilte Folgerung zog, ergriff ihn eine solche Aufregung, dafs er einen Freund bitten mufste, die Rechnung zu Ende zu führen. Was schon Anaxagoras vorgeahnt, als er aussprach, wenn die Schwungkraft des Mondes aufhöre, so müsse dieser Weltkörper zur Erde fallen wie der Stein aus der Schleuder; was bei Keppler und Hooke mit wachsender Deutlichkeit hervortrat, das stand mit einem Schlage klar vor dem Geiste Newtons. Auf die glückliche Entdeckung des Augenblicks folgten dann Jahre mühevollster Arbeit. Galt es doch, die Richtigkeit des gefundenen Prinzips durch seine Anwendung auf sämtliche astronomischen Erscheinungen zu erweisen. Die Untersuchung wurde auf die Planeten, die Jupitermonde, die Erscheinungen der Ebbe und Flut, ja selbst auf die Kometen ausgedehnt. Überall ergab sich die Bestätigung des Gravitationsgesetzes, nach welchem die anziehende Kraft der Masse direkt und dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional ist. So entstanden die „Mathematischen Prinzipien der Naturwissenschaft“, durch welche Newton die Erklärung des Weltmechanismus aus seiner Gravitationstheorie zu einem vorläufigen Abschlufs brachte[2]).

Dennoch vermochte Newtons Lehre sich nur langsam Bahn

---

[1]) Genau gleich 15′ 1″ $1^4/_9$‴. Siehe Newtons Prinzipien (ed. Wolfers), Seite 386.

[2]) Philosophiae naturalis principia mathematica. London 1687. Übersetzt von Wolfers, Berlin 1872. Siehe auch Ferd. Rosenberger: Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien. Ein Hauptstück aus der Entwicklungsgeschichte der modernen Physik. Leipzig 1895.

zu brechen, da die zeitgenössischen Astronomen, insbesondere die Franzosen, zu sehr in der von Descartes aufgestellten Wirbeltheorie befangen waren. Letzterer, der als Begründer der neueren Philosophie grofses Ansehen genofs und dessen Verdienste um die Formulierung des Brechungsgesetzes, um die Theorie des Regenbogens, sowie um die Begründung der analytischen Geometrie gleichfalls Anerkennung verdienen, dachte sich die Planeten in kreisenden Ätherströmen schwimmend, in deren Mitte sich die Sonne befinden sollte. Eine Wirkung in die Ferne schien den Anhängern der Cartesianischen Physik und auch dem grofsen deutschen Philosophen Leibniz unannehmbar. Allmählich gelangte die Newtonsche Gravitationsmechanik indes doch zur allgemeinen Anerkennung; und hundert Jahre später waren es gerade die Franzosen, vor allem ihr grofser Astronom Laplace, welche das von Newton in den gröberen Zügen ausgearbeitete System bis in die feinsten Details vollendet haben.

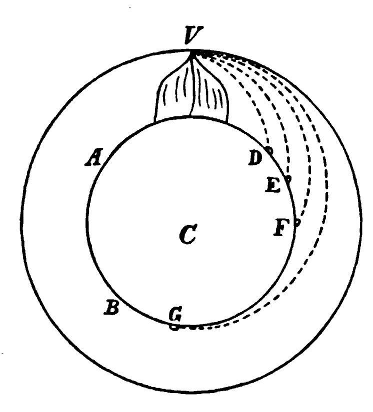



Fig. 40. Newtons Ableitung der Centralbewegung aus der Wurfbewegung [2]).

Die Gravitationsmechanik stellt sich im wesentlichen als eine Fortbildung der von Galilei aufgefundenen Sätze über den Wurf dar. Am klarsten geht dieser Zusammenhang aus der folgenden, von Newton selbst gegebenen Darstellung hervor [1]): „Dafs durch die Centralkräfte die Planeten in ihren Bahnen erhalten werden können, ersieht man aus der Bewegung der Projektile. Ein geworfener Stein wird, indem ihn seine Schwere antreibt, vom geraden Weg abgelenkt und fällt, indem er eine krumme Linie beschreibt, zuletzt zur Erde. Wird er mit gröfserer Geschwindigkeit geworfen, so geht er weiter fort; und so könnte es geschehen, dafs er einen Bogen von 10, 100, 1000 Meilen beschriebe und zuletzt über die Grenzen der Erde hinausginge und nicht mehr zurückfiele. Es bezeichne (Fig. 40) A F B die Oberfläche der Erde, C ihren Mittelpunkt und V D, V E, V F krumme Linien, welche ein von

[1]) Newtons Prinzipien (ed. Wolfers), Seite 515.
[2]) Newtons Prinzipien. (ed. Wolfers), Fig. 213.

der Spitze V eines sehr hohen Berges in horizontaler Richtung und mit wachsender Geschwindigkeit geworfener Körper beschreibt. Damit der Widerstand der Luft nicht in Rechnung zu kommen braucht, wollen wir uns dieselbe ganz fortgenommen denken. Auf dieselbe Weise wie der mit zunehmender Geschwindigkeit geworfene Körper die Bögen VD, VE, VF beschreibt, wird derselbe endlich, wenn die Geschwindigkeit noch weiter vergröſsert wird, über den ganzen Umfang der Erde fortgehen und zu demselben Berge, von welchem er geworfen wurde, zurückkehren[1]). Da nun nach den Sätzen, welche von der Centrifugalkraft handeln[2]), die Geschwindigkeit bei der Rückkehr zum Berge nicht kleiner als beim Ausgange sein kann, so muſs der Körper fortfahren, sich in derselben Weise herumzubewegen. Denken wir uns nun Körper aus höheren Punkten in horizontaler Richtung fortgeworfen, und zwar aus Punkten, welche 10 Meilen, 100 Meilen oder ebensoviele Halbmesser über der Oberfläche der Erde liegen, so werden diese Körper, je nach ihrer Geschwindigkeit und nach der in den einzelnen Punkten herrschenden Anziehung, Kurven beschreiben, die entweder konzentrisch oder exzentrisch sind. Und in diesen Bahnen werden sie fortfahren nach der Weise der Planeten, den Weltraum zu durchwandern."

Die hier stattgefundene Erweiterung gegenüber der Betrachtung Galileis besteht also darin, daſs die Richtung der auf den Körper konstant wirkenden Kraft sich stetig ändert, während sie im anderen Falle[3]) dieselbe bleibt.

Zu der Zeit, als die Prinzipien erschienen, bekleidete Newton immer noch die Professur der Mathematik in Cambridge, deren kärgliche Besoldung kaum den bescheidensten Ansprüchen genügte. Dazu kam das Unglück, daſs ein Teil seiner wertvollen Manuskripte verbrannte. Newton wurde dadurch so bekümmert, daſs man eine Geistesstörung befürchtete. Diese äuſseren Verhältnisse wurden jedoch mit einem Schlage durch Newtons Ernennung zum königlichen Münzmeister geändert. Seitdem wohnte er, im Alter mit Ehren überhäuft, bald in der Hauptstadt, bald auf einem Landsitz in der Nähe derselben, bis ein Steinleiden am 31. März des Jahres 1727 seinem an wissenschaftlichen Erfolgen so überaus reichen Leben ein Ziel setzte.

Newton war trotz seiner auſserordentlichen Bedeutung ein bescheidener stiller Gelehrter. „Ich weiſs nicht," sprach er einst,

---

1) Dies würde geschehen, wenn die Geschwindigkeit 21000′ beträgt.

2) Newtons Prinzipien, I. Buch, § 13.

3) Siehe Fig. 16 ds. Bds.



„wie ich der Welt erscheine. Mir selbst aber komme ich vor wie ein Knabe, der am Meeresufer spielt und sich damit belustigt, dann und wann einen glatten Kiesel oder eine schönere Muschel als gewöhnlich zu finden, während der grofse Ocean der Wahrheit unerforscht vor ihm liegt.“

Die Inschrift, welche sein Geburtshaus in Woolsthorpe schmückt: lautet: „Nature and Nature's laws lay hid in night, God said ‚Let Newton be‘, and all was Light.“

Newton wurde in der Westminsterabtei, der Stätte, wo Englands grofse Männer ruhen, unter Ehrenbezeugungen beigesetzt, wie sie sonst nur verstorbenen Mitgliedern des Königlichen Hauses erwiesen werden. Das Denkmal, welches seine irdischen Überreste deckt, trägt einen in lateinischer Sprache verfafsten Nachruf, dessen Wortlaut nachstehend in deutscher Übersetzung wiedergegeben ist:

Hier ruht
Sir Isaac Newton
welcher mit fast göttlicher Geisteskraft
Der Planeten Bewegung und Gestalten,
Die Bahnen der Kometen und die Gezeiten des Oceans
Mit Hülfe seiner mathematischen Methode
Zuerst erklärte.
Er ist es, der die Verschiedenheiten der Lichtstrahlen,
Sowie die daraus entspringenden Eigentümlichkeiten der Farben,
Die niemand vorher auch nur vermutete, erforscht hat.
Als der Natur, der Altertümer und der Heiligen Schrift
Fleifsiger, scharfsinniger und getreuer Deuter,
Verherrlichte er die Majestät des allmächtigen Schöpfers in seiner Philosophie.
Die vom Evangelium geforderte Einfalt bewies er durch seinen Wandel.
Mögen die Sterblichen sich freuen, dafs unter ihnen wallte,
Eine solche Zierde des Menschengeschlechts.
Geboren am 25. Dezember 1642, gestorben am 20. März 1727 [1]).

Aus der Schar der Zeitgenossen ragte niemand soweit an Newton heran wie der schon wiederholt erwähnte Niederländer Huygens, den ersterer selbst Summus Hugenius nannte. Auch Huygens stand auf den Schultern Galileis. Seine Thätigkeit erstreckte sich vorzugsweise auf dieselben Wissenschaftsgebiete, auf

---

[1]) Nach dem Gregorianischen Kalender am 5. Januar 1643 und am 31. März 1727.



denen Newton bahnbrechend wirkte, auf die Optik und die Mechanik; und wo zwischen beiden Forschern Meinungsverschiedenheiten entstanden, hat die Aufhellung derselben neue Fortschritte gezeitigt.

Christiaan Huygens wurde am 14. April des Jahres 1629 im Haag geboren. Ausgestattet mit einer mathematischen Begabung, welche frühzeitig die Bewunderung seines Zeitalters erregte, zeichnete ihn aufserdem ein hervorragendes Geschick für die praktische Bewältigung mechanischer Probleme aus. Wie auf Galilei und Newton, so ist auch auf ihn die Mitwelt zuerst durch seine astronomischen Entdeckungen aufmerksam geworden. Die von Galilei am Saturn beobachtete rätselhafte Erscheinung, welche derselbe für eine Verdreifachung dieses Gestirnes angesehen hatte[1]), erfuhr nämlich durch Huygens die richtige Deutung. Letzterer erkannte vermittelst der vorzüglichen, von ihm verfertigten Refraktoren, dafs es sich hier weder um eine solche Verdreifachung, noch um zwei Henkel, welche spätere Beobachter zu sehen glaubten, handeln könne, sondern er erblickte den Saturn von einem freischwebenden Ringe umgeben, wie es uns die vorstehende, dem Werke über das System des Saturns[2]) entnommene Figur 41 erkennen läfst. Huygens durfte mit Recht von einem System dieses Planeten reden, da er auch den sechsten und gröfsten der um ihn gravitierenden Monde aufgefunden hatte[3]). Fast zur selben Zeit, als die Entdeckung des Saturnringes erfolgte, wurde Huygens

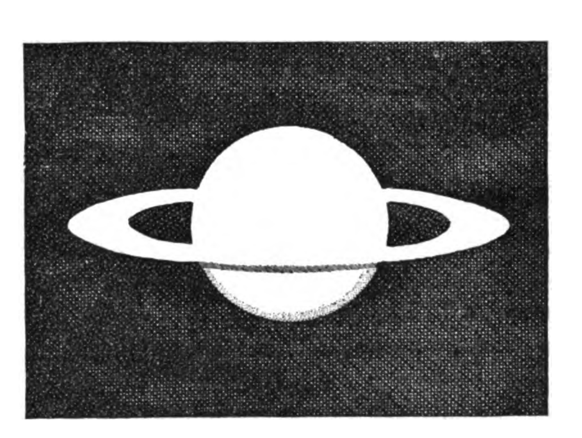


Fig. 41. Huygens Darstellung des Saturnringes. (Christiani Hugenii Systema Saturnium. Haag 1659. Abbildung auf Seite 21).

1) Siehe Bd. I, Seite 40.

2) Christiani Hugenii Systema Saturnium. Haag 1659.

3) Die übrigen sieben Saturnmonde wurden später von Cassini Herschel u. a. entdeckt.

auf die später zu besprechende Erfindung der Pendeluhr geleitet[1]). Durch diese Leistungen war er schon, bevor er das 30. Lebensjahr erreicht und noch ehe er seine für die Mechanik und die Optik grundlegenden Werke veröffentlicht hatte, zu einer Berühmtheit von europäischem Rufe geworden. Als daher Colbert die französische Akademie der Wissenschaften errichtete, war es das Erste, dafs er den niederländischen Forscher an dieselbe berief. Huygens leistete dieser Ernennung Folge und blieb während der Jahre 1666 bis 1681 eine Zierde des neubegründeten Instituts. Da jedoch in Frankreich die Verfolgungen der Protestanten einen bedrohlichen Charakter annahmen, kehrte er noch vor der Aufhebung des Ediktes von Nantes, obgleich man ihm selbst volle Religionsfreiheit zugesichert hatte, in die Vaterstadt zurück. Bis zu seinem dort am 8. Juni 1695 erfolgten Ende blieb er mit physikalischen und mathematischen Untersuchungen beschäftigt.

Wenn Huygens auf dem Gebiete der Optik auch keine hervorragende Entdeckung gemacht hat, so hat er sich doch auf demselben durch die Aufstellung der schon erwähnten Wellentheorie das gröfste Verdienst erworben. Angeregt wurden seine Betrachtungen einerseits durch die Spekulationen Descartes' und Hookes, von denen der letztere das Licht gleichfalls als eine Wellenbewegung ansprach[2]), ohne jedoch seine Ansicht ausführlicher zu begründen: andererseits durch die Entdeckung der Doppelbrechung, sowie der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Mit dem Problem, diese Geschwindigkeit gleich derjenigen des Schalles zu messen, hatte sich schon Galilei befafst. Er war indes, wie man es bei der Anwendung einfacher Lichtsignale nicht anders erwarten konnte. zu keinem Resultat gelangt. Descartes' Meinung ging dahin, dafs zwar nichts Materielles von den leuchtenden Körpern in unser Auge gelange; indessen sei das Licht keine Bewegung, sondern vielmehr ein Streben nach Bewegung, und dieses Streben beanspruche, weil etwas gänzlich Unkörperliches, zu seiner Fortpflanzung keine Zeit. Descartes war der Erste, der die Frage durch astronomische Gründe zu entscheiden suchte. Breitet sich das Licht, so schlofs er, in der Zeit aus, dann kann die Verfinsterung des Mondes durch die Erde nicht in demselben Momente eintreten, in welchem sich die Erdkugel zwischen Mond und Sonne schiebt.

---

[1]) Das Patent, welches er auf seine Erfindung nahm, datiert vom 16. Juni 1657.

[2]) Siehe Seite 193 ds. Bds.



Nun beweisen aber die Beobachtungen, dafs die Mondfinsternis in demselben Augenblicke beginnt, in welchem der Mond in die Richtung der Verbindungslinie von Erde und Sonne tritt. Die Fortpflanzung des Lichtes mufs also instantan sein. Demgegenüber bemerkt Huygens, dafs die Betrachtungen, welche Descartes anstellt, wohl eine sehr schnelle, keineswegs aber eine augenblickliche Fortpflanzung des Lichtes beweisen. Wenn dasselbe z. B. den Weg von der Erde zum Monde innerhalb zehn Sekunden zurücklege, so würde dies in den astronomischen Beobachtungen nicht leicht wahrzunehmen sein.

Die von Huygens gemachte Voraussetzung, dafs das Licht zu seinem Wege Zeit gebraucht und sich in einem das Weltall erfüllenden Medium in kugelförmigen Flächen oder Wellen fortpflanzt[1]), hatte erst wenige Jahre vor der Veröffentlichung seiner Wellentheorie ihre Bestätigung gefunden. Dies geschah durch die Beobachtungen, welche der dänische Mathematiker Olaf Römer[2]) an dem innersten Jupitertrabanten anstellte. Letzterer bewegt sich in etwa $42^1/_2$[3]) Stunden um den Centralkörper und tritt nach jedesmaligem Ablauf dieses Zeitraumes aus dem Schatten des Jupiter heraus. Huygens giebt in seiner im Jahre 1678 verfafsten „Abhandlung über das Licht", mit welcher der Leser bereits durch den 16. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist, folgenden Bericht über die von Römer angestellten Beobachtungen und Folgerungen: A (Fig. 42) sei die Sonne, BCDE die jährliche Bahn der Erde, F der Jupiter und GN die Bahn des nächsten seiner Trabanten. Bei H möge dieser aus dem Schatten des Jupiter treten. Setzt

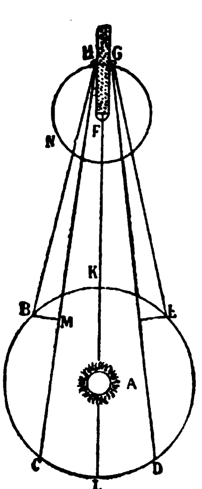



Fig. 42. Römer berechnet die Geschwindigkeit des Lichtes[4]).

[1]) Siehe Bd. I, Seite 81.

[2]) Olaf oder Olof Römer wurde am 25. September 1644 zu Aarhuus geboren und starb am 19. September 1710 in Kopenhagen. Die erwähnten Beobachtungen stellte er von 1672—1676 auf der Pariser Sternwarte an. Sein Bericht an die Pariser Akademie datiert vom 22. November 1675 (Anc. Mémoires, Paris. Tom. I et X).

[3]) 42 Stunden 27 Minuten 33 Sekunden.

[4]) Chr. Huygens, Abhandlung über das Licht. Fig. 2. Siehe Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 20, Seite 14.

man nun voraus, dafs dies geschah, während die Erde sich im Punkte B befand, so müfste man, wenn die Erde an derselben Stelle bliebe, nach Ablauf von $42^1/_2$ Stunden einen ebensolchen Austritt beobachten. Wenn nun die Erde beispielsweise während 30 Umläufe des Trabanten immer in B verharrte, so würde man denselben gerade nach $30 . 42^1/_2$ Stunden wieder aus dem Schatten hervorkommen sehen. Während dieser Zeit hat sich indes die Erde nach C bewegt, indem sie sich mehr und mehr von dem Jupiter, der infolge seiner langen Umlaufszeit seine Stellung wenig verändert hat, entfernte. Daraus folgt, dafs, wenn das Licht für seine Fortpflanzung Zeit gebraucht, das Auftauchen des kleinen Mondes in C später bemerkt werden wird, als dies in B geschehen wäre. Man mufs nämlich zu der Zeit von $30 . 42^1/_2$ Stunden noch diejenige hinzufügen, welche das Licht gebraucht, um den Weg MC, nämlich die Differenz der Strecken CH und BH zu durcheilen. Ebenso wird man, wenn die Erde von D nach E gelangt und sich dem Jupiter nähert, das Eintreten des Mondes G in den Schatten bei E früher beobachten müssen, als dies geschehen würde, wenn die Erde in D geblieben wäre. Römers Berechnungen ergaben, dafs das Licht ungefähr 11 Minuten gebraucht, um den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen. Spätere Messungen haben diesen in Anbetracht der grofsen Strecke schon aufserordentlich geringen Wert sogar auf etwa 8 Minuten herabgesetzt. Die Lichtgeschwindigkeit ist demnach nicht das 600000fache derjenigen des Schalles, wie Huygens angiebt[1]), sondern nahezu das 900000fache.

Wie sich Huygens die Vereinigung der von jedem Punkte des leuchtenden Körpers ausgehenden Elementarwellen zu einem einzigen von dem Körper fortschreitenden Wellensystem dachte, haben wir durch seine an die 14. Abbildung des I. Bandes geknüpfte Auseinandersetzung erfahren. Im weiteren Verlaufe werden aus seinem Prinzip die Reflexion, die Brechung und die am Kalkspat beobachtete Erscheinung der Doppelbrechung abgeleitet. Eine nach jeder Richtung befriedigende Deutung war jedoch erst möglich, nachdem spätere Forscher die von Huygens auf Grund der Analogie mit der Schallbewegung gemachte Annahme, dafs der Lichtäther longitudinal schwinge, verliefsen. Erst unter der Voraussetzung transversaler Schwingungen gelang es mit Hülfe des von Huygens aufgestellten Prinzips, die verwickeltsten Lichterschei-

[1]) Siehe Bd. I, Seite 82

nungen nicht nur zu erklären, sondern sogar dem Experiment bisher verborgen gebliebene Vorgänge vorherzusagen.

Die Frage, welchen Wert und welchen Grad der Gewifsheit Betrachtungen solcher Art besitzen, hat Huygens selbst beantwortet, indem er darlegt, dafs die von ihm aufgestellten Prinzipien sich erst durch die Schlüsse bewahrheiten, welche man aus ihnen zieht, während die Mathematik umgekehrt ihre Sätze aus sicheren, unanfechtbaren Voraussetzungen herleitet. „Trotzdem ist es gleichwohl möglich", sagt Huygens von diesem Gebiete[1]), „zu einem Grade der Wahrscheinlichkeit zu gelangen, der oft einem strengen Beweise nichts nachgiebt. Das ist nämlich dann der Fall, wenn die aus jenen Prinzipien gezogenen Folgerungen vollständig mit den Erscheinungen im Einklang sind; zumal, wenn die Zahl der Erscheinungen grofs ist, und vorzüglich, wenn man neue Erscheinungen voraussieht, die aus den gemachten Annahmen folgen und unserer Erwartung gemäfs auch eintreten."

Von gleicher Bedeutung wie seine Leistungen auf dem Gebiete der Optik waren die Arbeiten Huygens' auf dem Felde der Mechanik, wenn es sich auch hier nur um ein Fortbauen auf den von Galilei herrührenden Grundlagen handeln konnte. Knüpfte Newton an Galileis Untersuchungen über den Wurf an, so entwickelte Huygens die Theorie des Pendels, für welches der grofse Meister nur die fundamentalen Gesetze aufgestellt hatte, bis in alle Einzelheiten. Dabei wandte er in seinem 1673 erschienenen Werke über die Pendeluhr[2]), das den „Prinzipien" Newtons als ebenbürtig an die Seite gestellt werden kann, die Geometrie in solch bewunderungswürdiger Weise auf mechanische Probleme an, dafs Newton, sehr wahrscheinlich durch die Mustergültigkeit der Huygens'schen Darstellung bewogen, sich in dem genannten Hauptwerk gleichfalls geometrischer Beweise bediente, anstatt der höheren Analysis, in deren Besitz er sich damals schon befand, den Vorzug zu verleihen.

Die Frage der Einführung eines genauen Zeitmafses war im Verlauf des 17. Jahrhunderts, in welchem so grofse Dinge auf den Gebieten der Astronomie und der Physik geschahen, zu einer brennenden geworden. Der weitere Fortschritt dieser Wissenschaften mufste wesentlich von der Einführung eines solchen abhängen. Wir sahen, dafs noch Galilei sich bei seinen Fallversuchen einer

---

[1]) Siehe die Vorrede zu seiner Abhandlung (Ostwalds Klassiker Nr. 20, Seite 4).

[2]) Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum. Paris 1673.



Art Wasseruhr bediente [1]). Da derselbe Forscher mit Hülfe dieser Vorrichtung die Schwingungsdauer eines und desselben Pendels als konstant erwies, so mufste er auf den Gedanken kommen, sich dieses so viel einfacheren Mittels als Zeitmafs zu bedienen. Galilei hatte sogar die Idee, das Pendel mit einem Zählwerk zu verbinden [2]). Das Ei des Columbus bestand nun darin, den wiederholten Anstofs seitens der Hand, den die von Galilei ersonnene Vorrichtung erforderte, durch die ununterbrochen wirkende Kraft eines fallenden Gewichtes zu ersetzen. Hierin besteht die Erfindung des grofsen Huygens, auf welche derselbe 1657, im 28. Jahre seines Lebens ein Patent nahm.

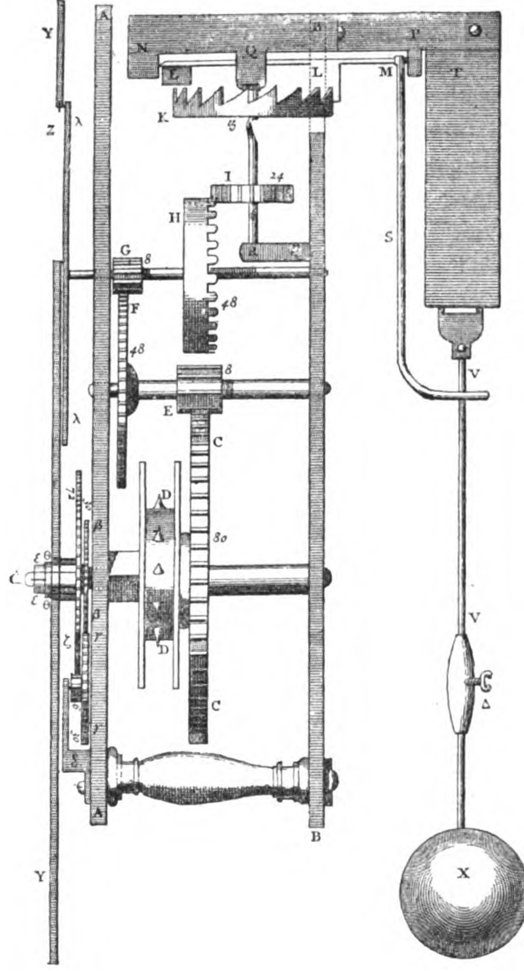



Fig. 43. Huygens Abbildung der von ihm erfundenen Pendeluhr [3]).

Während man sich im Altertum, sowie im früheren Mittelalter nur der Sonnen- und der Wasseruhren bedient hatte, kamen

---

1) Siehe Seite 127 ds. Bds.

2) Das von Viviani herrührende Modell dieser Vorrichtung existiert noch im Galilei-Museum zu Florenz. Siehe Günther, Vermischte Untersuchungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. 1876. Seite 316.

3) Christiani Hugenii, Horologium oscillatorium. Paris MDCLXXIII. pg. 4. Fig. I.

seit dem 11. Jahrhundert Räderuhren mit Gewichten auf. Später wurden dieselben auch mit einem Schlagwerk in Verbindung gesetzt. In der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts gab es derartige Turmuhren schon in vielen deutschen Städten. Die Regulierung der Uhren erfolgte damals durch Windflügel, wie sie noch heute bei den Spielwerken gebräuchlich sind, oder durch eine horizontale, mit Gewichten beschwerte Stange. Ihr Gang war jedoch so ungenau, dafs ein Wärter denselben überwachen und nach der Sonne und den Sternen regeln mufste.

Die nebenstehende dem Werke Huygens' entnommene Abbildung (Fig. 43) zeigt den von diesem angewandten Mechanismus. Derselbe bestand in der Verbindung eines horizontalen gezähnten

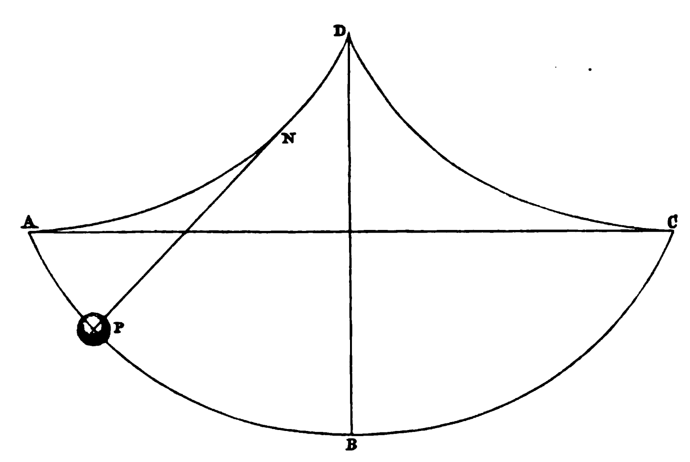



Fig. 44. Huygens beweist, dafs die Schwingungen in der Cykloide isochron erfolgen [1]).

Rades K mit einer horizontalen Achse, deren Schaufeln L L abwechselnd zwischen die Zähne eingriffen. Die heute gebräuchliche Ankerhemmung wurde erst später erfunden [2]).

Galilei hatte die Analogie der Pendelbewegung mit dem Fall über die schiefe Ebene nachgewiesen. Huygens verallgemeinerte diese Betrachtung, indem er den Fall durch eine beliebige Kurve auf eine Folge von Bewegungen auf geneigter Ebene zurückführte. Er fand, dafs unter den von ihm untersuchten

1) Horologium oscillator. Fig. auf pg. 12.

2) Der Londoner Uhrmacher Clement erfand die Ankerhemmung im Jahre 1680.

Linien eine existiere, in welcher die Fallbewegung im luftleeren Raum vollkommen isochron verläuft. Es war dies nicht der Kreisbogen, für den Galilei die Isochronie der Schwingungen nachgewiesen zu haben glaubte, sondern die Cykloide. Der tiefste Punkt B der Cykloide ABC (siehe Fig. 44) wird nämlich, wenn ein Körper in dieser Kurve fällt, stets in derselben Zeit erreicht, von welchem der zwischen A und B gelegenen Punkte die Bewegung auch beginnen mag[1]).

Dieses Resultat seiner mathematischen Untersuchung wufste Huygens nun sofort auch praktisch zu verwerten. Um dem Pendel, anstatt der Kreis- die Cykloidenbewegung zu erteilen, kam es darauf an, dafs der Faden, welcher bei dem Kreispendel in jeder Stellung eine gerade Linie bildet, gezwungen wird, sich an eine Kurve von bestimmter Gestalt anzuschmiegen. Die Untersuchung ergab, dafs diese Kurve gleichfalls eine Cykloide sein mufs. In der Figur 44 stimmt dementsprechend das Cykloidenstück AB mit CD und das Stück BC mit AD überein. Figur 45 zeigt uns die von Huygens für sein Cykloidenpendel vorgeschlagene Einrichtung. Dieselbe besitzt zwei feste cykloidisch gekrümmte Backen, denen sich der obere fadenförmige Teil des Pendels anschmiegt. Praktische Verwendung hat dies Cykloidenpendel selten gefunden, da das Kreispendel nach Einführung der Ankerhemmung und bei Anwendung kleiner Ausschläge den hinsichtlich der Genauigkeit des Ganges zu stellenden Anforderungen entspricht.

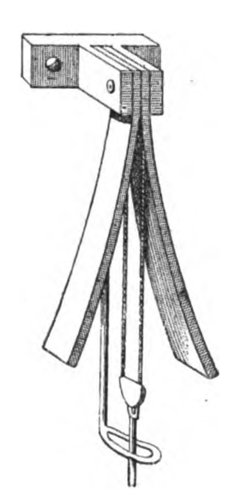


Fig. 45. Huygens Cykloidenpendel[2]).

Die Taschenuhr versah Huygens mit der jetzt gebräuchlichen Unruhe[3]); ferner entwickelte er die Theorie des konischen oder Centrifugalpendels[4]), welches in einem horizontalen, vollen

---

1) Horologium oscillatorium, Pars II.

2) Horologium oscillatorium. pg. 4. Fig. II.

3) Diese Erfindung wurde veröffentlicht im Journal des savants vom 25. Februar 1675.

4) Horologium oscillatorium, Pars V. Eine zusammenfassende Arbeit über die Geschichte der Erfindung der Pendeluhr lieferte E. Gerland in Wiedemanns Annalen, Bd. 4, Seite 585—613.

Gerland schreibt Galilei das Verdienst zu, die Pendeluhr schon 1641.

Kreise schwingt, während gleichzeitig der Faden die Kegelfläche beschreibt, eine Vorrichtung, welche später Watt als Regulator der von ihm verbesserten Dampfmaschine verwendet hat.

Fügen wir noch hinzu, dafs Huygens die Länge des Sekundenpendels zum erstenmale genauer bestimmte (er fand sie gleich 3,0565 Pariser Fufs), dafs er ferner die Formel für die Pendelbewegung[1]) und aus derselben die Beschleunigung für den freien Fall ableitete, so erkennen wir, mit welcher Fülle neuer Entdeckungen die Wissenschaft durch ihn bereichert wurde.

Die Bedeutung von Huygens ist jedoch hiermit bei weitem noch nicht erschöpft. Die bisher gestreiften Leistungen auf dem Gebiete der Mechanik waren nämlich entweder praktischer Art, oder sie bestanden in der Betrachtung des einfachen Pendels, worunter ein materieller Punkt verstanden wird, der an einem gewichtslosen Faden schwingt. Bald nachdem die Untersuchungen Galileis in den nördlichen Ländern Europas bekannt geworden waren, hatte nun ein französischer Gelehrter[2]) die Frage aufgeworfen, nach welchen Gesetzen denn die Schwingungen beliebig gestalteter Körper vor sich gingen. Descartes und andere scharfsinnige Mathematiker, darunter auch der damals 17 Jahre alte Huygens, nahmen das Problem in Angriff, ohne eine Lösung finden zu können. Descartes fand zwar eine schärfere Formulierung desselben. „Wie es einen Schwerpunkt in allen frei herabfallenden Körpern giebt,“ sagt er, „so haben alle Körper, die sich vermöge der Schwere um irgend einen Punkt bewegen, einen Agitationspunkt; und alle Körper, bei welchen dieser Agitationspunkt gleich weit von dem Aufhängepunkt entfernt ist, machen ihre Hin- und Hergänge in derselben Zeit.“ Die Bestimmung dieses Agitations- oder Schwingungsmittelpunktes gelang indes erst Huygens, welcher seine Methode 27 Jahre, nachdem die Frage aufgeworfen war, in seinem Horologium oscillatorium bekannt machte.

Man nehme aufser dem materiellen Punkt, welcher das einfache Pendel bildet, auf der Pendellinie noch einen zweiten materiellen Punkt an, der mit dem ersten in fester Verbindung steht (siehe

also 15 Jahre vor Huygens erfunden zu haben. Beide Männer seien unabhängig von einander darauf gekommen. Galileis Apparat sei jedoch unbekannt geblieben und habe nie Verwendung gefunden.

[1]) $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

[2]) Der gelehrte mit den hervorragendsten Männern seiner Zeit in Briefwechsel stehende Pater Mersenne (1588—1648).

Fig. 46). Sucht man nun die Länge o x desjenigen einfachen Pendels zu bestimmen, das dieselbe Schwingungszeit wie das System a b besitzt, so hat man das Problem des Schwingungsmittelpunktes in seiner einfachsten Gestalt. Der Punkt b wird durch a gehemmt, a durch b dagegen beschleunigt werden. Mithin wird der Punkt b langsamer und der Punkt a schneller schwingen, als sie es für sich allein thun würden; und es mufs zwischen b und a einen Punkt geben, welcher dieselbe Schwingungsdauer besitzt wie das System a b.

Nachdem Huygens den Schwingungsmittelpunkt definiert und gezeigt hat, wie man denselben für die verschiedenen geometrischen Figuren findet, giebt er am Schlusse seines Werkes noch die von ihm begründete Theorie der Centrifugalkraft. Auch hier handelt es sich um eine Erweiterung der Galileischen Lehre von der Pendelbewegung. Wird ein Körper, der sich im Zustande der geradlinigen und gleichförmigen Bewegung befindet, in eine kreisförmige Bahn gezwungen, so übt derselbe einen vom Centrum dieses Kreises fortgerichteten Zug aus, dem entweder durch einen gleichen Gegendruck oder durch die Spannung z. B. eines den Körper und das Centrum verbindenden Fadens das Gleichgewicht gehalten werden mufs. Dafs diese Spannung mit der Geschwindigkeit des Körpers wächst, und endlich zum Zerreifsen der Verbindung führen kann, wufste zwar jedermann aus der Erfahrung. Huygens lieferte aber den Beweis, dafs die Centrifugalkraft, welche den Faden spannt, wie das Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt, und in dem Verhältnis kleiner wird, wie der Radius wächst[1]). Die Centrifugalkraft mufs nach diesem Gesetz, schlofs Huygens weiter, auf jeden, aufserhalb der Drehachse gelegenen Punkt eines rotierenden Körpers wirken. Ist die Verbindung keine starre, besteht der Körper z. B. aus einem plastischen Material, so werden infolge der mit der Entfernung von der Achse wachsenden Centrifugalkräfte Deformationen eintreten. Zum Beweise des Gesagten wurde eine Thonkugel auf eine durch ihren Mittelpunkt gehende Achse gesteckt und in schnelle

o

b

x

a

Fig. 46. Das Problem des Schwingungsmittelpunktes.

1) $f = m \frac{v^2}{r}$.

Drehung versetzt. Die Kugel nahm darauf die Form eines an den Polen abgeplatteten Sphäroids an. Durch diesen Versuch und die demselben vorausgehenden Überlegungen vermochte Huygens nun auch, die von ihm beobachtete Abplattung des Jupiter zu deuten. Dieselbe erschien ihm als das sicherste Zeichen, dafs dieser Planet, ähnlich wie die Erde, eine Rotationsbewegung besitzt. Dann war aber auch die allen bisherigen Gradmessungen zugrunde liegende Ansicht von der Kugelgestalt der Erde eine irrige. Die von Huygens angestellte Berechnung ergab für unseren Planeten eine Abplattung von 1 : 587. Newton, der sich mit derselben Frage beschäftigte, fand auf theoretischem Wege ein Resultat, welches den Ergebnissen späterer Messungen schon mehr entsprach. Der von ihm berechnete Wert betrug 1 : 229.

Diese Untersuchungen der beiden grofsen Mathematiker sollten durch eine merkwürdige Beobachtung, welche zugleich auf die Wichtigkeit der Pendeluhr das hellste Licht warf, ihre Bestätigung finden. Der französische Astronom Jean Richet stellte im Jahre 1672 auf der in der Nähe des Äquators gelegenen Insel Cayenne astronomische Messungen an. Dabei fiel ihm auf, dafs seine von Paris mitgenommene Uhr täglich um 2 Minuten zurückblieb. Als er das Pendel um $^5/_4$ Linien[1]) verkürzte, zeigte die Uhr wieder einen richtigen Gang. Nach Paris zurückgebracht, ging sie indes zu schnell, bis dem Pendel seine ursprüngliche Länge wiedergegeben wurde. Huygens erklärte diese Erscheinung als eine Folge der mit der Annäherung an den Äquator zunehmenden Schwungkraft, welche der Schwere entgegenwirkt und unter dem Äquator $^1/_{289}$ der ganzen Kraft der Schwere zu Paris beträgt[2]). Würde demnach, führt Huygens aus, die Erde 17 mal so schnell rotieren ($17^2 = 289$), so würde die Schwere durch die Schwungkraft völlig aufgehoben werden, sodafs bei einer weiteren Steigerung der letzteren, die am Äquator befindlichen Körper sich von der Erde fortbewegen müfsten.

Eine Berechnung Newtons ergab zwar für die Schwungkraft gleichfalls den von Huygens gefundenen Wert. Während letzterer aber noch annahm, dafs die Schwere auf der ganzen Erde dieselbe sei und die Änderungen in der Länge des Sekundenpendels aus-

1) Newtons Prinzipien (ed. Wolfers) Seite 406.

2) D. h. unter Berücksichtigung der in Paris gleichfalls durch die Centrifugalkraft hervorgerufenen Verminderung der Schwere. Siehe auch die über diesen Gegenstand von Newton in seinen Prinzipien der Naturlehre (ed. Wolfers) Seite 401 angestellten Berechnungen.

schliefslich durch die wechselnde Gröfse der Schwungkraft bedingt würden, zeigte Newton, dafs die Schwere, auch wenn man von der Centrifugalkraft völlig absieht, einen veränderlichen Wert besitzt und mit der Annäherung an den Äquator abnimmt. Für die Notwendigkeit einer Verkürzung des Pendels an Orten geringerer geographischer Breite ergaben sich somit zwei Ursachen, die Verminderung der Schwere und das Anwachsen der einen Teil der letzteren aufhebenden Centrifugalkraft.

Die Mehrzahl der französischen Gelehrten verhielt sich diesen Ergebnissen gegenüber ablehnend. Man war zunächst geneigt, die von Richet beobachtete Erscheinung auf eine Wirkung der Wärme zurückzuführen, deren Einflufs Newton als zwar mefsbar aber sehr geringfügig annahm, da eine 3 Fufs lange Eisenstange während des Winters nur um 1/6 Linie kürzer sei als im Sommer. Auch gegen die Lehre, dafs die Erde ein an den Polen abgeplattetes Sphäroid sei, erhob sich in Frankreich Widerspruch. Dominique Cassini (1625—1712), der Direktor der im Jahre 1667 gegründeten Pariser Sternwarte, für dessen ausgezeichnetes Beobachtungsvermögen die Entdeckung von vier Saturnmonden[1]), sowie der Rotation des Jupiter sprachen, glaubte aus den Resultaten neuerer Gradmessungen schliefsen zu dürfen, dafs die Erde eher ein längliches Sphäroid sei, anstatt an den Polen eine Abplattung aufzuweisen. Die Newtonianer nahmen indes die Beobachtungen an dem Jupiter, welcher entsprechend seiner auffällig raschen Umdrehung[2]) eine starke Abplattung an den Polen zeigt, als einen Analogiebeweis für ihre aufserdem durch die oben erwähnten theoretischen Gründe gestützte Ansicht in Anspruch.

Dieser Streit setzte sich bis über das Zeitalter Newtons hinaus fort. Endlich fühlte sich die französische Regierung bewogen, denselben durch genauere Gradmessungen zum Austrag zu bringen. Das Ergebnis war die Richtigkeit der Voraussetzung Newtons, dessen System nunmehr auch in Frankreich einen vollständigen Sieg errang. Wir werden uns mit dieser Lösung des Problems bei der Betrachtung des auf die Newton-Huygensperiode folgenden Zeitraumes, in welchem auch die erste genauere Feststellung der Dimensionen unseres Sonnensystems gelang, zu beschäftigen haben[3]).

[1]) Cassini entdeckte in den Jahren 1671 bis 1684 den dritten, vierten, fünften und achten Mond des Saturn.

[2]) Cassini bestimmte deren Dauer zu 9 Stunden 56 Minuten; die Abplattung des Jupiter beträgt 1/14.

[3]) Siehe Seite 237 ds. Bds.

Neben der Optik und der Mechanik, deren Fortschritte in Verbindung mit einer Weiterentwicklung der mathematischen Wissenschaft, die Astronomie während der Newton-Huygensperiode ganz aufserordentlich gefördert haben, wurden die übrigen Zweige der Physik nicht in gleichem Mafse berücksichtigt. Auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre ist kaum eine nennenswerte Entdeckung zu verzeichnen; hier sollte der weitere Ausbau insbesondere dem 18. Jahrhundert vorbehalten bleiben. Dazu kam, dafs das wissenschaftliche Streben in Italien nachliefs und Deutschland in seiner Mitarbeit trotz der Entwicklung, welche die experimentelle Technik durch die Arbeiten Guerickes erfahren hatte, zurückblieb. Dieses Land litt unter den Folgen des dreifsigjährigen Krieges, es war verarmt und zerrüttet, während die Wissenschaften auf demjenigen Punkte angelangt waren, wo sie zu ihrer Fortentwicklung nicht nur der moralischen, sondern auch der materiellen Unterstützung weiterer Kreise bedurften. Statt dessen wandten die Machthaber Deutschlands in ihrer steten Geldbedürftigkeit immer noch dem alchemistischen Problem ihr Interesse zu und spendeten für die Lösung desselben Mittel, welche eines besseren Zweckes würdig gewesen wären[1]). Unter den wenigen, welche hier während der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts sich Verdienste um die Förderung der Wissenschaften erwarben, sind vor allem Tschirnhausen und Leibniz zu nennen. Tschirnhausen (1651—1708), ein auswärtiges Mitglied der französischen Akademie, verwandte gleich Guericke bedeutende Summen auf die Verfertigung physikalischer, insbesondere optischer Apparate. Seine aus Kupfer hergestellten Hohlspiegel, deren gröfster noch heute eine Sehenswürdigkeit Dresdens bildet, erreichten einen Durchmesser von 3 und eine Brennweite von 2 Ellen. Dieselben waren imstande, einen Thaler innerhalb 5 Minuten zu schmelzen; sie brachten jedoch keine merkliche Erwärmung hervor, als man mit ihrer Hülfe das Licht des Mondes konzentrierte. Tschirnhausens Linsen besafsen bis zu 80 Centimetern Durchmesser[2]). Eine derselben wanderte nach Florenz und ward zu den Versuchen benutzt, welche man dort im Jahre 1695 über die Verbrennlichkeit des Diamanten anstellte. In dem Fokus dieser Linse, welche Porzellan

[1]) Lehrreich ist in dieser Hinsicht die Geschichte Böttgers, des Erfinders des Porzellans. Siehe dessen aus authentischen Quellen geschöpfte Biographie von Engelhardt. 1837.

[2]) Siehe Gerland: Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina Halle 1882.

und Bimstein zum Schmelzen brachte, verbrannte ein Diamant von 140 Gran Gewicht innerhalb einer halben Stunde.

Der Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz (1646—1716), welcher an Universalität des Geistes alle Zeitgenossen überragte und wohl nur in Aristoteles seines Gleichen findet, war seiner ganzen Anlage nach mehr zum Theoretiker als zum Experimentator geschaffen. Unabhängig von Newton, wenn auch später als dieser, erfindet er die höhere Analysis, eins der gewaltigsten Werkzeuge für die weitere Ausgestaltung der Naturwissenschaften. Im Anschlufs an Galilei unterscheidet er den blofsen Druck, wie er bei statischen Verbindungen auftritt, unter dem Namen „tote Kraft" von der Stofswirkung oder der „lebendigen Kraft" bewegter Körper. Der letztere Ausdruck hat sich in die Sprache der Mechanik eingebürgert. Leibniz erkannte ferner, dafs die Stofswirkung bewegter Massen und dementsprechend ihre Fähigkeit, Arbeit zu leisten, wie das Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt. Er versteht jedoch unter dem Ausdruck „lebendige Kraft" das Produkt der Masse mit dem Quadrat der Geschwindigkeit, während die wirkliche Energie gleich der Hälfte dieses Produktes ist[1]).

Die Beziehungen, welche Leibniz zum preufsischen Königshause, insbesondere zu der geistreichen Königin Sophie Charlotte unterhielt, führten im Jahre 1700 zur Gründung der Berliner Akademie der Wissenschaften.

Wir verdanken Leibniz ferner einen Bericht über eine der wichtigsten chemischen Entdeckungen des 17. Jahrhunderts, über die Entdeckung des Phosphors[2]). Der Hamburger Kaufmann Brandt liefs sich bei seinen alchemistischen Versuchen von der Vorstellung leiten, dafs die im Organismus thätigen Kräfte allein imstande seien, die Metallverwandlung zu bewirken. Er unterwarf daher den beim Eindampfen von Urin erhaltenen Rückstand der trockenen Destillation. Dabei wurden die phosphorhaltigen Verbindungen desselben durch die infolge des Erhitzens aus der organischen Materie abgeschiedene Kohle reduziert. Der auf solche Weise[3]) von Brandt im Jahre 1669 erhaltene freie Phosphor

---

1) $m v^2$ ; $\frac{m v^2}{2}$.

2) Leibniz, Historia inventionis phosphori. Miscellanea Berolinensia. 1710. T. I. pg. 91.

3) Ein Jahrhundert später (1776) zeigte Gahn, dafs sich Phosphor aus kalcinierten Knochen darstellen läfst, indem man den beim Eindampfen der Knochen mit Schwefelsäure erhaltenen Rückstand mit Kohle destilliert.



erregte wegen seiner überraschenden Eigenschaften die Aufmerksamkeit der gesamten gebildeten Welt. Brandt hielt seine Methode zuerst geheim. Auf Grund einiger Andeutungen, welche der gleich zu erwähnende Kunkel erfuhr, gelang diesem jedoch gleichfalls die Darstellung.

Zu der Zeit, als der Engländer Boyle sich bemühte, die Chemie auf eine wissenschaftliche Grundlage zu erheben, waren die deutschen Chemiker Kunkel und Becher noch in alchemistischen Vorstellungen befangen. Kunkel (1630—1702) hat indes trotz der Verkehrtheit seiner Ansichten die Chemie durch zahlreiche Beobachtungen bereichert. Einige Jahre nach der Entdeckung des Phosphors zeigte er das neue Element dem grofsen Kurfürsten. Letzterer ernannte Kunkel zum Leiter seines alchemistischen Laboratoriums, welches er gleich manchen anderen Fürsten des 17. Jahrhunderts unterhielt.

Becher (1635—1682) hielt sich wie Kunkel als Alchemist an deutschen Höfen auf. Er und der etwas spätere Stahl sind die Begründer der Phlogistontheorie, welche trotz ihrer irrigen Voraussetzungen die Chemie des 18. Jahrhunderts beherrscht hat.

Dafs die Aufstellung eines den Thatsachen entsprechenden Systems der Chemie so viel später als die Begründung der Mechanik erfolgte, ist in erster Linie darauf zurückzuleiten, dafs die Chemie eine vorwiegend induktiv verfahrende Wissenschaft ist, welche sich der deduktiven Behandlung erst in unseren Tagen zu erschliefsen beginnt. Was den Fortschritt der physikalischen Zweige, insbesondere der Optik und der Mechanik so ungemein förderte, war die innige Verbindung und gegenseitige Unterstützung der induktiven und der deduktiven Forschungsweise von den ersten Schritten auf diesen Gebieten an. Die Grundlagen einer chemischen Theorie zu schaffen, war bei weitem mühevoller, weil die chemischen Vorgänge nicht unmittelbar in die Sinne traten, sondern erst durch eine lange, mühevolle Verknüpfung der Ergebnisse experimenteller Forschung auf dem Wege logischer Verstandesthätigkeit erschlossen werden mufsten.

Die Chemie hatte indes seit Boyle, Becher und Stahl ihre wahre Aufgabe darin erkannt, die stofflichen Veränderungen auf dem Wege des Experimentes zu erforschen. Insbesondere galt es, die so mannigfachen Wandlungen der Materie, welche mit der Verbrennung Hand in Hand gehen, auf ein einziges Grundprinzip zurückzuführen. Als ein solches glaubten Becher und Stahl

(1660 – 1734) eine in den brennbaren Körpern angenommene Materie, welche Stahl als Phlogiston bezeichnete, erkannt zu haben. Der Verbrennungsprozefs sollte in dem Entweichen dieses Phlogistons bestehen. Der brennbare Körper mufste folglich eine Verbindung von Phlogiston mit dem gleichfalls schon in der Substanz enthaltenen Verbrennungsprodukt sein. Je weniger Verbrennungsprodukt, desto reicher war der ursprüngliche Körper an Phlogiston. Kohle, welche nur eine geringe Menge Asche hinterläfst, war demnach nahezu reines Phlogiston. Wurde Zink verbrannt, so zerfiel es in seine Bestandteile Zinkweifs und Phlogiston. Die Wiedergewinnung des Zinks aus dem Zinkoxyd durch Erhitzen mit Kohle bestand in einer Zuführung des in der letzteren enthaltenen Phlogistons. So gelang es in leichtfafslicher Weise nicht nur die wichtigen chemischen Prozesse der Oxydation und Reduktion, sondern auch die Atmung und Verwesung auf ein Grundprinzip zurückzuführen. Die mit der Phlogistontheorie unvereinbare für manche Fälle bekannte Thatsache, dafs das Gewicht des Verbrennungsproduktes dasjenige der unverbrannten Substanz übertrifft, wurde nicht weiter beachtet. Obgleich von einem unrichtigen Grundsatz geleitet, haben die Phlogistiker des 18. Jahrhunderts, unter denen sich Experimentatoren ersten Ranges wie Scheele und Priestley befanden, die Chemie in hohem Grade gefördert. Durch ihr Bemühen, in welchem sie Baustein auf Baustein zusammentrugen, ohne sie in richtiger Weise ordnen zu können, haben sie selbst den Sturz der Phlogistontheorie herbeigeführt und dem Manne, dessen Scharfsinn wir die logische Verknüpfung der zahllosen chemischen Einzelbeobachtungen verdanken, dem Franzosen Lavoisier, erst sein Werk ermöglicht.

Den Ausgangspunkt für die Darstellung der meisten chemischen Verbindungen bilden die Mineralien. In dem Mafse, wie eine wissenschaftlichen Zielen nachstrebende Chemie emporwuchs, trat dem praktischen Interesse an diesen Naturkörpern, von dem Agricola z. B. noch vorzugsweise geleitet war, das wissenschaftliche an die Seite. Es erhob sich die Frage nach der Zusammensetzung und Entstehung nicht nur der Mineralien, sondern der starren Erdrinde überhaupt. Um die Beantwortung dieser Frage hat sich niemand während des 17. Jahrhunderts mit gleichem Scharfsinn und gleichem Erfolge bemüht, wie Steno.

Nikolaus Steno wurde 1631 in Kopenhagen geboren, widmete sich dem Studium der Medizin und war in den sechziger Jahren des 17. Jahrhunderts Leibarzt am Hofe zu Florenz. Dort trat er

mit der Accademia del Cimento in enge Fühlung. Er befafste sich eingehend mit der Erforschung der Bodenverhältnisse Toscanas. Die Frucht dieser Untersuchung war eine Arbeit, welche zum erstenmale die Grundlagen der geologischen Wissenschaft in klarer, durch Profile erläuterter Darstellung entwickelte, während die Literatur vor Steno nur sporadisch zutreffende Bemerkungen über geologische Dinge enthält [1]).

Steno bemühte sich darzuthun, dafs weder die Mineralien noch die Schichten, welche die Gebirge zusammensetzen, erschaffene, von Anbeginn vorhandene Naturkörper sind, als welche sie im Gegensatz zu der vergänglichen Tier- und Pflanzenwelt wohl der naiven Betrachtung erscheinen. Die Mineralien, deren am Bergkrystall, Schwefelkies und Diamant auftretende Formen Steno beschrieb, wachsen nach ihm durch Ansatz von aufsen. Dieser Ansatz erfolgt indes nicht auf allen Flächen gleichmäfsig. Die Folge sind Verzerrungen der mathematischen Form, während die Neigung der begrenzenden Flächen stets dieselbe bleibt. Steno hat also schon das Grundgesetz der Mineralogie, das Gesetz von der Konstanz der Kantenwinkel, klar ausgesprochen, wenn es auch in seiner Allgemeingültigkeit erst in dem nachfolgenden Jahrhundert von Romé de l'Isle erkannt wurde.

Während die Mineralien aus wässeriger Lösung auskrystallisieren, ein Vorgang, den Steno aus einer Art magnetischer Kraft erklären wollte, sind die Felsschichten durch Absatz vorher im Wasser schwebender Teilchen entstanden. Letztere haben, dem Gesetz der Schwere folgend, Schichten von ursprünglich horizontaler Lage gebildet. Für den Absatz aus dem Wasser spricht nach Steno auch die Thatsache, dafs die niedersinkenden Teilchen sich den Körpern, welche sie einschliefsen, genau angepafst haben und ihre kleinsten Höhlungen ausfüllen. Enthält eine Schicht Seesalz, sowie Überreste von Meeresbewohnern, so mufs man annehmen, dafs sich das Meer einst dort befand, wo wir sie jetzt antreffen; sei es nun, dafs das Meer einst höher stand, sei es, dafs das Land sich senkte. Aus Abdrücken von Gräsern und Simsen, Versteinerungen von Baumstämmen u. s. w. schliefst Steno auf den terrestrischen Ursprung derjenigen Schicht, in welcher solche Überreste enthalten sind. Er nimmt an, dafs derartige

---

[1]) Steno, de solido inter solidum naturaliter contento, Florenz 1669. Ein von Élie de Beaumont herrührender Auszug dieser Schrift findet sich in den „Annales des sciences naturelles". XXV. pg. 337.



Bildungen von der Überschwemmung eines Flusses oder dem Hereinbrechen eines Bergstromes herrühren. Nicht richtig gedeutet werden die Kohlenlager. Sie werden nämlich auf durch Wasser gelöschte Waldbrände zurückgeführt.

Steno unterschied, wie ihm A. v. Humboldt[1]) nachrühmt, zum erstenmale diejenigen Felsschichten, welche schon vor der Existenz der Pflanzen- und Tierwelt vorhanden waren und infolgedessen keine organischen Überreste einschliefsen, von den späteren Schichten, die jenen aufgelagert und mit organischen Resten angefüllt sind. „Er liefs für den Boden Toskanas nach Art unserer modernen Geologen sechs grofse Naturepochen zu, innerhalb deren das Meer periodisch das feste Land überschwemmte oder sich in seine alten Grenzen zurückzog[2]).“ Dafs die Schichten nur selten ihre ursprünglich horizontale Lage beibehielten, sondern in der Regel in geneigter und selbst senkrechter Stellung angetroffen werden, führt Steno auf zwei Ursachen zurück. Entweder wurden die Schichten durch Stöfse zertrümmert, welche aus der Tiefe kamen, oder es erfolgte ein Einsturz, indem die unteren Schichten durch die Thätigkeit des Wassers fortgeführt und dadurch die oberen ihrer Stütze beraubt wurden.

Auch der vielseitige Hooke, sowie Descartes und Leibniz beschäftigten sich mit der Frage nach der Entstehung unserer Erde. Letztere beiden hielten dieselbe für einen ursprünglich sonnenartigen, glühenden Weltkörper, welcher infolge von Abkühlung erstarrt sei. Die Erdbeben führte Descartes auf die Wirkung einer noch im Innern vorhandenen flüssigen Masse zurück. Beide Philosophen entwickelten also schon ähnliche Anschauungen, wie sie später Kant bei der Aufstellung seiner Weltbildungstheorie vorgeschwebt haben.

Zu bemerkenswerten Ansichten gelangte auch Hooke[3]). Derselbe führte aus, dafs die Versteinerungen, welche man in früheren Jahrhunderten für Naturspiele oder für blofse Ansätze einer in der Erde waltenden schöpferischen Kraft hielt, aus dem Tier- und Pflanzenreiche stammen müfsten. Als organische Überreste hatte sie auch schon Agricola angesprochen, bei dem uns gleichfalls die Vorstellung von dem Centralfeuer begegnet. Hooke suchte indes auch darzuthun, dafs die Petrefakten Englands zum gröfsten Teile ausgestorbenen Gattungen angehören und am meisten mit

1) Humboldt, Essai géognostique. Paris 1823, pg. 38.
2) Humboldt a. a. O.
3) Hooke, Lectures on Earthquakes, 1688.

noch heute lebenden exotischen Formen übereinstimmen. Daraus zog er den Schlufs, England müsse sich in früheren Epochen der geologischen Entwicklung unter dem Meere einer heifsen Zone befunden haben. Ferner wurden die Knochen grofser Vierfüfser, welche man vorher als Beweise für die frühere Existenz von Riesen angesehen hatte, als Überreste von Individuen der Gattung Elephas gedeutet[1]).

Von besonderem Interesse ist auch der Versuch, die unterirdische Wärme als eine Folge chemischer Prozesse hinzustellen, eine Hypothese, die in unseren Tagen wieder ihre Verfechter gefunden hat. Es zeigten sich sogar die ersten Regungen einer experimentellen Geologie. So versuchte ein französischer Forscher[2]) einen Vulkan im Kleinen dadurch herzustellen, dafs er ein feuchtes Gemenge von Schwefel und Eisen vergrub, welches sich unter dem Einflusse des aus der Luft hinzutretenden Sauerstoffs erhitzte. Neben die blofse Beschreibung tritt hier also als gleichberechtigt das Streben nach einer ursächlichen Deutung der Erscheinungen. Auch auf den übrigen Gebieten der Naturwissenschaft, dem botanischen und dem zoologischen, begegnen uns die ersten Regungen eines solchen Strebens. Schon im 16. Jahrhundert hatte man sich nicht mehr auf die blofse Beschreibung der äufseren Form und eine im wesentlichen hierauf gegründete Systematik beschränkt, sondern begonnen auch auf die innere Gestaltung des tierischen Organismus, sowie auf seine Entwicklung Rücksicht zu nehmen. In weit höherem Mafse gilt dies von dem 17. Jahrhundert, als sich durch das Mikroskop nicht nur dem Zoologen die feineren Formverhältnisse erschlossen, sondern die ohne eine Verschärfung der Sinnesorgane gar nicht mögliche Anatomie der Pflanzen begründet wurde. Der Richtung jener Zeit entsprechend, welche auf ein Zurückführen der in der anorganischen Natur obwaltenden Vorgänge auf physikalische Prinzipien abzielte, regte sich auch das Bestreben, die Funktionen des lebenden Organismus mechanisch zu erklären. Kurz, es sind die Anfänge desjenigen mehr durch seine Methode als durch den Gegenstand charakterisierten Wissenszweiges, den wir als Biologie im modernen Sinne bezeichnen, welche uns in diesem Zeitalter begegnen.

Die gröfste Errungenschaft auf diesem Gebiete ist die von dem Engländer Harvey (1578—1658) begründete Lehre von dem

---

1) Dies geschah durch Langmantel im Jahre 1688.

2) N. Lemery.

Kreislauf des Blutes. Die seit Vesal emporblühende Anatomie hatte eine Reihe von Thatsachen zu Tage gefördert, welche mit den herrschenden Ansichten Galens[1]) sich nicht vereinigen liefsen. Das Ansehen des letzteren war jedoch selbst bei Harvey noch so grofs, dafs er fast ein Jahrzehnt nach seiner Entdeckung verstreichen liefs, ehe er letztere in seinem „anatomischen Übungsstück über die Bewegung des Herzens und des Blutes" bekannt zu geben wagte[2]). Als neu enthalten Harveys Ausführungen

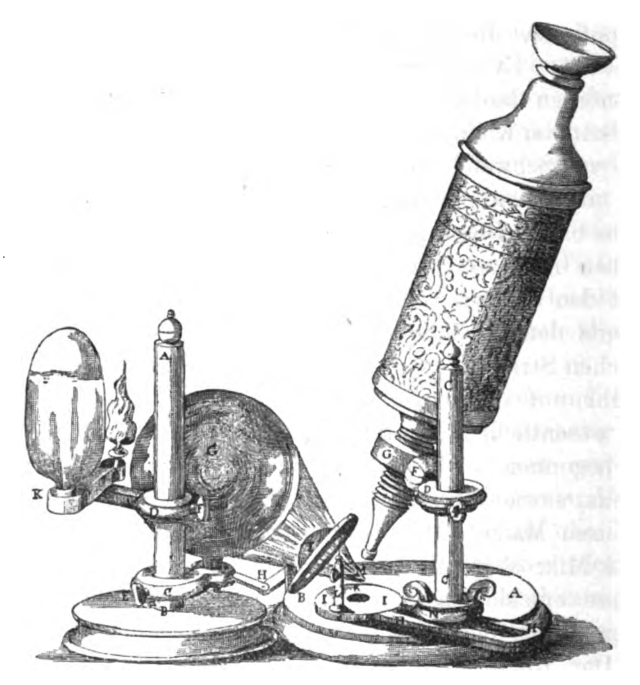


Fig. 47. Hookes zusammengesetztes Mikroskop (Hookes Micrographia, Schem. I, Fig. 5/6).

folgende Punkte: Das Herz verhält sich wie ein Muskel. Es wird bei seiner Kontraktion härter und blässer und stöfst das Blut, das passiv aufgenommen wird, von sich. Das bei der Systole des Herzens fortgetriebene Blut gelangt in die Arterien, welche sich also in der Diastole befinden, wenn das Herz sich zusammenzieht. Aus den Verzweigungen der Arterien tritt das Blut in die Venen

1) Siehe Seite 55 ds. Bds.

2) Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus. Francof. 1628.

über und fliefst in diesen zum Herzen zurück, sodafs das letztere in einer bestimmten Zeit von der ganzen Masse des Blutes durchströmt wird.

Dieselbe Bedeutung, welche für die Astronomie das Fernrohr gewonnen hatte, erlangte für die Biologie das einige Dezennien früher als jenes Instrument erfundene Mikroskop[1]). Letzterem wurde jedoch zunächst nur ein geringes Interesse geschenkt. Selbst Leeuwenhoek, der in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts die Erforschung kleinster Lebewesen aufserordentlich förderte, verwandte dazu einfache bikonvexe Linsen und erzielte mit denselben eine 160-fache lineare Vergröfserung. Solche Linsen, deren sich auch Huygens bediente, waren nur stecknadelknopfgrofs. Ihr Gebrauch erforderte keine geringe Geschicklichkeit und ein hervorragendes Sehvermögen. Letztere Eigenschaft, sowie die Sorgfältigkeit im Beobachten wurde durch die Verwendung des einfachen und des zusammengesetzten Mikroskops in solchem Mafse gesteigert, dafs auch das unbewaffnete Auge Dinge wahrnehmen lernte, welche früher der Beobachtung gänzlich entgangen waren.

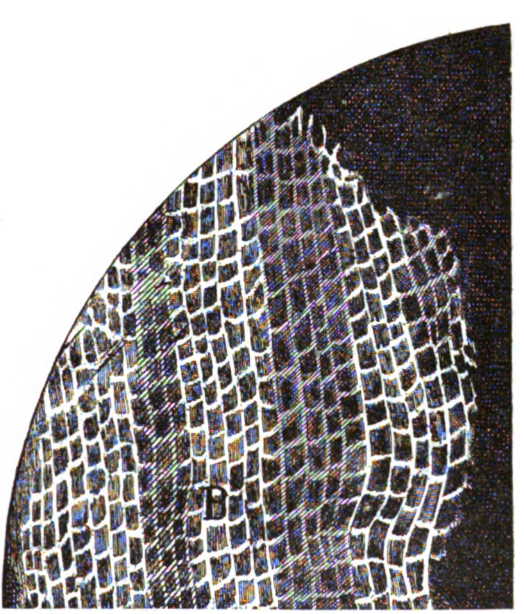



Fig. 48. Die älteste Abbildung, welche den zelligen Bau der Korksubstanz erläutert. Hookes Micrographia, Schem. XI, Fig. 1.

Erst im Jahre 1660 erhielt das zusammengesetzte Mikroskop durch Robert Hooke denjenigen Grad der Vollendung, der es zu wissenschaftlichen Untersuchungen geeignet machte. Um den Zeitgenossen die Brauchbarkeit seines Instrumentes (siehe Fig. 47) zu beweisen, veröffentlichte Hooke im Jahre 1667 seine „Micrographie

1) Siehe Seite 112 ds. Bds.

oder Beschreibung kleiner Gegenstände“. Eine Beteiligung an der Lösung der die Lebewelt betreffenden Probleme lag also weniger in der Absicht dieses Forschers; trotzdem machte er eine Entdeckung von der gröfsten Tragweite. Hooke war nämlich der erste, welcher den zelligen Bau der Organismen wahrnahm, ohne indes im entferntesten die Bedeutung des Gesehenen zu ahnen. Als er den dünnen Schnitt eines Flaschenkorkes betrachtete, erblickte er zahlreiche, durch Wände getrennte Räume, denen er die bis auf den heutigen Tag für die Elementarorgane des Tier- und Pflanzenkörpers gebliebene Bezeichnung „Zellen“ gab. Hooke berechnete, dafs 1200 Millionen solcher Zellen auf einen Kubikzoll Kork kommen. Die umstehende Figur 48 ist eine Wiedergabe der ältesten Abbildung, welche den zelligen Bau der Korksubstanz erläutert[1]). Die gleiche Art des inneren Gefüges wies Hooke für das Mark des Hollunders, sowie für das Holz verschiedener Pflanzen nach. Dabei entging ihm nicht, dafs die Zellen oft langgestreckt und im frischen Zustande mit Saft gefüllt sind.

Hooke bildet ferner den Stachel der Biene ab, dessen Widerhaken deutlich zu erkennen sind; auch die Häkchen, welche die feinsten Äste der Federn verbinden, sind in der Mikrographie dargestellt, wie sich denn überhaupt der Verfasser derselben mit einer fast kindlich zu nennenden Wifsbegierde mit allem beschäftigt, was sich ihm zufällig darbietet. Die ersten systematischen Untersuchungen auf den durch die Verbesserung des Mikroskops erschlossenen Gebieten sollten jedoch nicht lange auf sich warten lassen. Sie erfolgten durch Nehemia Grew, einen Landsmann Hookes, und den als Anatom und Physiologe hervorragenden Italiener Malpighi. Beide Männer legten ihre Resultate fast gleichzeitig (im Jahre 1671) der Royal Society vor. Eine ausführliche Darstellung gaben sie in zwei umfangreichen, erst mehrere Jahre später veröffentlichten Werken[2]).

Die von Grew und Malpighi angestellten ersten pflanzenanatomischen Untersuchungen verfolgen nicht etwa schon das Ziel, die Zelle, deren Inhalt man erst viel später seinem Wesen nach verstehen lernte, als das Grundorgan aller Pflanzenteile nachzuweisen. Neben der Beschreibung der mit blofsem Auge nur unvollkommen sichtbaren äufseren Pflanzenteile, insbesondere der Blütenorgane,

---

[1]) Hooke, Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies. London 1667. pg. 112 (Observat. XVIII).

[2]) Malpighi, Anatome plantarum. 1675. Grew, The anatomy of plants. 1682.

Knospenanlagen, Früchte, Samen u. s. w. beschränken sie sich auf die Darstellung grob anatomischer Verhältnisse. Ihre Untersuchung läuft mehr auf eine Zergliederung der Organe in die einzelnen Gewebe als auf den Nachweis der Gewebselemente und deren gesetzmäfsige Verknüpfung hinaus. Das ganze Verfahren ist also analytisch. Als Elemente der Gewebe werden Fasern und Zellen unterschieden. Malpighi weist insbesondere auf die grofse Verbreitung der Spiralröhren hin. Überall wird die Frage nach der Funktion der beschriebenen Elemente mit den anatomischen Befunden verknüpft. Die Physik und insbesondere die Chemie waren indes noch nicht imstande, der Pflanzenphysiologie ihre unentbehrliche Hülfe zu gewähren, sodafs die Fragen nach der Saftbewegung und der Ernährung, obwohl sie im Mittelpunkte des Interesses standen, keine sachgemäfse Behandlung finden konnten. Malpighi, der sogar eine peristaltische Bewegung in den Spiralröhren wahrgenommen haben wollte, gelangte immerhin zu der für die weitere Entwicklung der Ernährungsphysiologie grundlegenden Erkenntnis, dafs die Blätter diejenigen Organe sind, welche die Nahrung der Pflanzen bereiten. Auch zeigte er, dafs das Produkt der Assimilation von hier aus in die übrigen Teile des Organismus gelangt und daselbst entweder zunächst aufgespeichert oder sofort zum Wachstum verwendet wird.

Die von Malpighi und Grew begründete Anatomie der Pflanzen wurde zunächst nicht fortentwickelt. Die Physiologen und in noch höherem Grade die Systematiker der nachfolgenden Zeit glaubten dieses Zweiges der botanischen Wissenschaft entraten zu können, auch erfuhr das Mikroskop zunächst noch nicht diejenige Vervollkommnung, welche es zur Aufhellung feinerer anatomischer Einzelheiten befähigt hätte. So kam es, dafs der weitere Ausbau des in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts erschlossenen Gebietes erst im Beginn des 19. Jahrhunderts anhub, um dann in rascher Folge zu Resultaten zu führen, welche das Gesamtbild der Botanik wesentlich verändert und dazu beigetragen haben, dafs dieselbe auf den Rang einer induktiven Wissenschaft erhoben wurde.

Die systematische Bearbeitung des Pflanzenreiches hatte sich schon während des 16. Jahrhunderts nach zwei verschiedenen Richtungen entwickelt, von denen die eine, eine natürliche Anordnung bezweckende, auf Bock und Brunfels zurückzuführen ist, während die zweite Richtung in Caesalpin, dem Begründer des ersten künstlichen Systems, ihren Hauptvertreter fand.

Die Thatsache, dafs der Keimling bald ein, bald zwei oder

auch gar keine Keimblätter besitzt, wird zum erstenmale systematisch verwertet. Damit werden die grofsen natürlichen Gruppen der Dikotylen, der Monokotylen und der Akotyledonen (Kryptogamen) geschaffen[1]). Ferner treten uns die Labiaten, Leguminosen, Gräser, Stellaten u. s. w. als kleinere, natürliche Gruppen entgegen. Auf der anderen Seite schlofs sich an das System Caesalpins. welches seine scharfen Unterscheidungen auf bestimmte Merkmale des Samens und der Frucht gründete, ein Versuch an, die Beschaffenheit der Blumenkrone den Zwecken einer künstlichen Systematik dienstbar zu machen[2]).

Gegen das Ende des 17. Jahrhunderts erfolgte dann eine vom Altertum schon vorgeahnte Entdeckung auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie, welche berufen war, auf die weitere Entwicklung der Systematik den gröfsten Einflufs auszuüben. Es war dies der Nachweis der Sexualität der Pflanzen durch den Tübinger Professor Camerarius[3]). Wenn die Botaniker des 16. und 17. Jahrhunderts von männlichen und weiblichen Pflanzen redeten, so geschah es nur in bildlichem Sinne, um dadurch eine oft nicht verkennbare habituelle Verschiedenheit zu bezeichnen. Caesalpin und Malpighi nahmen an, dafs die Entstehung des Samens ein der Knospenbildung analoger Vorgang sei. Den Staubgefäfsen und den Blumenblättern fiel nach ihrer Meinung die Aufgabe zu, einen Teil der Feuchtigkeit an sich zu ziehen, damit in den übrigen Teilen der Blüte ein umso reinerer Saft zur Bildung des Samens zurückbleibe.

Camerarius ging dagegen von der Beobachtung aus, dafs ein nur Früchte tragender Maulbeerbaum, in dessen Nähe sich kein Kätzchen tragendes Exemplar befand, taube, hohle, zur Keimung unfähige Samen hervorbrachte. Er entschlofs sich darauf, das Verhältnis, in welchem die verschiedenartig gestalteten Individuen derselben Pflanzenart zu einander stehen, auf dem einzig Erfolg versprechenden Wege des Versuches zu erkunden. Camerarius wählte dazu eine der gemeinsten zweihäusigen Pflanzen, das jährige Bingelkraut (Mercurialis annua). Sonderte er die fruchtbringenden Exemplare völlig ab, so zeigte sich, dafs auch in diesem Falle die Samen nicht zur Entwicklung gelangten. Darauf

[1]) John Ray (1628—1705) in seiner Historia plantarum. 1686.

[2]) Tournefort (1656—1708), Professor am Jardin des plantes zu Paris.

[3]) Rudolf Jakob Camerarius wurde 1665 in Tübingen geboren und starb daselbst 1721. Im Jahre 1688 wurde er Professor und Direktor des botanischen Gartens in Tübingen.

ging er zu Versuchen mit solchen Pflanzen über, welche Staubgefäfs- und Stempelblüten auf demselben Individuum erzeugen. Wurden z. B. bei Ricinus und Mais die ersteren entfernt, bevor die Antheren zur Entwicklung gelangt waren, so erhielt er in keinem Falle reife Samen. „Es erscheint daher gerechtfertigt," schliefst Camerarius, „den Antheren die Bedeutung von männlichen Geschlechtsorganen beizulegen, in welchen der Same, jenes Pulver nämlich, ausgeschieden wird. Ebenso ist einleuchtend, dafs der Fruchtknoten mit seinem Griffel das weibliche Geschlechtsorgan der Pflanze darstellt[1]."

Eine Einsicht in die Art des Befruchtungsvorganges war damit allerdings noch nicht gewonnen. Camerarius hielt es sogar für selbstverständlich, dafs in jenem häufigsten Falle, in welchem Staubgefäfse und Stempel in einer Blüte vereinigt sind, die Befruchtung zwischen diesen nahe benachbarten Teilen stattfinde, während doch in der That die Natur, wie spätere Untersuchungen dargethan haben, alle erdenklichen Veranstaltungen trifft, um eine Selbstbefruchtung der Zwitterblüten zu verhindern. Einen der Vereinigung der Geschlechter in diesen Blüten entsprechenden Hermaphroditismus hatte der zur Zeit des Camerarius lebende Swammerdam im Tierreich, und zwar an den Schnecken, aufgefunden. Camerarius erwähnt diese Beobachtung und bemerkt dazu, dafs dieser Fall, der im Tierreich eine Seltenheit bedeute, bei den Pflanzen eben die Regel sei. Gleichzeitig wundert er sich darüber, dafs die Schnecken sich nicht selbst befruchten, während dies doch, wie er annimmt, bei den Pflanzen stattfinde.

Linné, welcher bald darauf die Systematik durch Errichtung seines auf die Sexualität gegründeten Systems zu einem vorläufigen Abschlufs brachte, fufste, was diese Grundlage anbetraf, wesentlich auf Camerarius, dessen Lehre durch ihn keine nennenswerte Fortbildung erfuhr. Letzteres geschah erst durch die Untersuchungen Kölreuters, welche späterer Besprechung vorbehalten bleiben.

Wie für die Botanik, so bestand auch für die Zoologie der wesentlichste Fortschritt des 17. Jahrhunderts in der Erschliefsung der Welt des Kleinen mit Hülfe des einfachen und des zusammengesetzten Mikroskops. Man wird jetzt mit Lebewesen näher bekannt, denen man bisher ihrer geringen Körpergröfse wegen kaum oder gar-

---

[1]) Camerarius, De sexu plantarum epistola, datiert vom 25. August 1694. Herausgegeben von J. G. Gmelin, Tübingen 1749.



nicht Beachtung geschenkt hatte. Mit Erstaunen und Bewunderung erkennt man, dafs das Innere derselben, welches dem unbewaffneten Auge als eine gleichartige Masse erscheint, einen Bau aufweist, der an Kompliziertheit demjenigen der höheren Tiere durchaus nicht nachsteht. Der Ausspruch des Plinius „Natura in minimis maxima" wird jetzt erst als wahr erkannt. Wie auf dem Gebiete der Pflanzenanatomie sucht man, geleitet von dem Zweckmäfsigkeitsbegriff, nach einem Verständnis für das Geschaute. Durchdrungen von dem Gedanken, dafs der Schöpfer alles planvoll eingerichtet habe und in seinen Werken zu erkennen sei, sehen wir den Holländer Swammerdam seine mühevollen Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Insekten vollbringen. Der Leser ist durch den 18. Abschnitt des I. Bandes mit Swammerdams Abhandlung über den Bau und die Entwicklung der Bienen bereits bekannt geworden. Nach einem Ausspruch Boerhaves[1]), der Swammerdams Bibel der Natur herausgab, ist das Buch über die Bienen ein Werk, das bis auf jene Zeiten nicht seines Gleichen gefunden hatte. Wie Boerhave ferner mitteilt, ist dasselbe im Anfang der 70er Jahre des 17. Jahrhunderts entstanden, und habe sich Swammerdam, dessen Augen durch die unermüdliche Anstrengung schliefslich „ganz stumpf geworden" seien, an demselben „zu Schanden" gearbeitet.

Jan Swammerdam wurde am 12. Februar 1637 zu Amsterdam geboren. Sein Vater war Apotheker und besafs ein hervorragendes Interesse für Naturalien. Er hatte in einem Zeitraum von 50 Jahren ein reiches Kabinett geschaffen. Der heranwachsende Sohn wurde mit der Instandhaltung desselben betraut und gewann infolgedessen einen unbezwinglichen Drang zur Naturforschung. Boerhave erzählt, der Knabe sei allen Tierchen seiner Umgebung nachgegangen und habe Luft und Wasser, Felder, Wiesen, Sandberge, Kräuter u. s. w. nach ihnen durchsucht, um ihre Eier, Nahrung, Wohnung und Krankheiten kennen zu lernen. Als er später in Leyden sich dem Studium der Medizin hingab, schlofs Swammerdam sich besonders eng an seinen Lehrer der Anatomie an. Nach der Beendigung seiner Studien ging er jedoch nicht dem ärztlichen Berufe nach, sondern wandte die erworbenen anatomischen Kenntnisse auf die Zergliederung der kleinsten Lebewesen an, deren äufsere Formen und Lebensgewohnheiten ihn während seiner Knabenzeit in solch hohem Grade gefesselt hatten.

[1]) Boerhave (1668—1738) war Professor der Chemie und der Botanik in Leyden.



Seinen Fleifs im Nachspüren nennt Boerhave mehr als menschlich. Sobald ihm die Sonne hinreichendes Licht spendete, begann er unter freiem Himmel seine feinen Präparate zu betrachten. Während der Abend- und Nachtstunden wurde beschrieben und gezeichnet. Bei der Untersuchung benutzte er Gläser von sehr verschiedener Schärfe. Der betreffende Gegenstand wurde zuerst bei schwacher Vergröfserung untersucht, dann betrachtete er denselben mit immer kleineren Linsen. Die Scheren, Messer und Lanzetten, deren sich Swammerdam bediente, waren so klein, dafs er sie unter dem Vergröfserungsglase schleifen mufste. Um den Verlauf der zarten Gefäfse zu verfolgen, blies er sie mit Hülfe feiner gläserner Röhren auf, oder er füllte sie mit gefärbten Flüssigkeiten. Auf solche Weise pflegte er die Gedärme der Biene so deutlich zu zeigen, wie man es bisher nur an gröfseren Tieren zu thun vermochte. Swammerdams zootomische Arbeiten erstreckten sich auch auf die Weichtiere und die Amphibien. Der Bau und die Entwicklung des Frosches z. B. wurden von ihm mit einer so weitgehenden Genauigkeit untersucht, dafs seine Befunde zum Teil erst durch Arbeiten der neuesten Zeit ihre Bestätigung gefunden haben[1]).

Durch Swammerdam sowie den gleichzeitig lebenden Italiener Redi wurde ferner die seit Aristoteles in den Köpfen der Gelehrten wie der Ungelehrten spukende Ansicht von der Urzeugung niederer Tiere wenn auch nicht gänzlich beseitigt, so doch für zahlreiche Fälle widerlegt. Wie in früheren Jahrhunderten verschanzte sich nämlich auch im 18. die Unwissenheit stets wieder hinter dieser Irrlehre. Harvey, welcher in seiner Schrift über die Erzeugung der Tiere[2]) Hervorragendes geleistet und das Wort „Ex ovo omnia“ an die Spitze derselben gestellt hatte, besafs durchaus keine klaren Vorstellungen über die Entwicklung der Insekten und der übrigen niederen Tiere. „Einige Geschöpfe,“ sagt er, „werden aus einem schon fertigen Stoffe vollends gebildet und aus einer Gestalt in die andere verändert. Alle Teile werden zugleich durch eine Verwandlung geboren und unterschieden. So geschieht die Zeugung der Insekten[3]).“ Harvey zeigte sich in der Behandlung dieser Frage also noch ganz von Aristoteles, sowie der landläufigen Auffassung beeinflufst, für welche schon mit dem Worte „Verwandlung“ der Irrtum eng verknüpft war.

[1]) Siehe Carus, Geschichte der Zoologie, München 1872. Seite, 403.
[2]) Harvey, Exercitationes de generatione animalium. London. 1651.
[3]) De gener. animal. XLV. Leydener Ausgabe vom Jahre 1737. Seite 161

Welch sonderbare Vorstellung man mit diesem Worte verband, geht auch aus folgenden Ausführungen Harveys hervor: „Durch die Verwandlung erhalten die Tiere eine Gestalt wie durch ein eingedrücktes Siegel. Bei solchen Tieren aber, welche durch Wachstum entstehen, bringt die Bildungskraft andere und anders geordnete Teile nacheinander hervor[1]." Wenn man bedenkt, dafs einer der hervorragendsten Anatomen des 17. Jahrhunderts solche Vorstellungen hegte, ein Mann, welcher selbst heute wohl noch auf Grund des oben erwähnten Wortes als ein Bekämpfer der Lehre von der Urzeugung betrachtet wird[2]), so erscheint die Bedeutung Swammerdams erst in vollem Lichte. Wo der letztere das Wort Verwandlung gebraucht, will er darunter nichts anderes verstanden wissen, als einen langsamen, auf natürliche Weise vor sich gehenden Auswuchs der Gliedmafsen, welcher unter der ursprünglichen Hülle stattfindet und sich daher der direkten Beobachtung entzieht, bis die neue Form die alte Haut plötzlich zersprengt.

Swammerdam hält es für ausgemacht, dafs in der ganzen Natur keine Urzeugung, sondern nur Fortpflanzung stattfindet und dafs jedes wirbellose Tier aus einem Ei hervorkommt, welches ein anderes Tier derselben Art gelegt hat. Zwar ist es ihm nicht möglich, für alle Fälle diese Ansicht durch die Beobachtung als richtig zu erweisen. Das von ihm beigebrachte Material ist indes umfangreich genug, um diese nur auf induktivem Wege zu erlangende Verallgemeinerung zu rechtfertigen. Dazu tritt der von ihm geführte Analogiebeweis durch die Aufdeckung einer von den Anhängern der Urzeugung nicht vermuteten Kompliziertheit im inneren Bau der niederen Tiere. „Alle Züge des Apelles", sagt Swammerdam in seiner Anatomie des Nashornkäfers[3]), „sind gegen die zarten Striche der Natur nur grobe Balken. Alles künstliche Gewebe der Menschen mufs sich vor einer einzigen Trachee verkriechen. Wer will sie abbilden? Welcher Witz vermag sie zu beschreiben? Welcher Fleifs kann sie hinlänglich untersuchen?" Da also die Organe der Insekten sich als ebenso vollendet, zweckmäfsig und kunstvoll gearbeitet erwiesen, wie diejenigen der allergröfsten Geschöpfe, so konnten diese Tiere auch unmöglich, wie die Anhänger der Urzeugung wollten, durch einen zufälligen

---

1) A. a. O. Seite 162 und 163.

2) Siehe auch „Harvey, Über die Erzeugung der Tiere" von W. Preyer. Zeitschrift Kosmos. II. Jahrgang. Seite 396.

3) Bibel der Natur. 1752. Seite 126.



Zusammenflufs der Teile entstanden sein, sondern mufsten sich analog den höheren Geschöpfen durch elterliche Zeugung gebildet haben.

Indem Swammerdam bei den Insekten die verschiedenen Arten der Entwicklung unterschied, schuf er zugleich die Grundlagen für die heutige Systematik dieser Tierklasse. Der erste Fall besteht darin, dafs das Tier in allen seinen Gliedmafsen vollkommen ausgebildet das Ei verläfst. Als Repräsentant dieser Gruppe wird die Laus genauer untersucht. Bei dem zweiten Typus findet nur ein allmähliches Heranwachsen der Flügel statt, ein Ruhezustand (Puppenstadium) tritt nicht ein. Swammerdam verfolgt diesen Vorgang bei der Libelle. Bienen, Ameisen und Käfer kommen unentwickelt aus dem Ei hervor und erhalten die vollkommene Gestalt durch allmähliche Ausbildung der Gliedmafsen unter der Haut. „Endlich," sagt Swammerdam, „treten alle Glieder, nachdem die Haut abgestreift ist, hervor. Der Vorhang wird sozusagen fortgezogen, der soviel Irrungen unter den Gelehrten angerichtet hat."

Wie erstaunte aber unser Forscher, als einmal aus vier Puppen eines Tagschmetterlings anstatt der erwarteten Falter 500 kleine geflügelte Insekten hervorbrachen. Eine Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung konnte erst später erfolgen, als man das geheimnisvolle Treiben der Schlupfwespen kennen gelernt hatte. Diese legen bekanntlich ihre Eier in die Larven anderer Kerbtiere, sodafs die Puppe von der sich entwickelnden jungen Brut, welche endlich die Haut durchbricht, aufgezehrt wird. Swammerdam fügt seiner Mitteilung die Bemerkung hinzu, es scheine, als habe sich das Leben der vier Tiere auf 500 andere verteilt.

Einen Bundesgenossen, der auf dem Wege des exakten Versuches gleichfalls zur Erschütterung der Lehre von der Urzeugung beitrug, fand Swammerdam in dem Italiener Redi[1]). Redi lieferte in einer 1668 erschienenen Schrift, die er „Versuche betreffend die Erzeugung der Insekten" betitelte, den Nachweis, dafs in den von ihm untersuchten Fällen vermeintlicher Urzeugung die Insekten nicht aus den in Fäulnis befindlichen Stoffen, sondern aus Eiern entstehen, welche Tiere derselben Art vorher in die betreffenden Substanzen gelegt haben. In richtiger Vorahnung der Erkenntnis einer späteren Periode bemerkt Swammerdam hierzu, kein Tier werde durch Fäulnis erzeugt, sondern es werde umgekehrt die Fäulnis erst durch Tiere verursacht.

---

1) **Francesco Redi** (1618—1676), Arzt in Florenz und Mitglied der Accademia del Cimento.

Am bekanntesten ist Redis Versuch, durch den er die Entstehung der Maden des Fleisches auf Fliegeneier zurückführte. Wurde nämlich das Fleisch mit einem feinen Flor überspannt, der die Fliegen an der Ablage der Eier hinderte, so traten auch niemals Maden auf.

Aus dieser Darstellung der Verdienste Redis ersehen wir, dafs sich die Mitglieder der Accademia del Cimento keineswegs ausschliefslich mit rein physikalischen Problemen befafsten. Dieselben zeigten sich vielmehr bestrebt, in Galileis Sinne die Methode des grofsen Meisters auf alle Gebiete der Naturwissenschaft auszudehnen. Neben Redi ist in dieser Hinsicht vor allem Borelli (1608—1679) zu nennen. Letzterer hat durch seine Schrift[1]) über die Bewegung der Tiere der Physiologie wertvolle Dienste geleistet, indem er die Prinzipien der Mechanik auf dieses Gebiet anwenden lehrte. Borelli zeigte, dafs beim Zusammenwirken von Muskeln und Knochen, letztere als Wurfhebel fungieren, d. h. als einarmige Hebel, bei welchen die in dem Muskel thätige Kraft an dem kleineren Hebelarm angreift. In der durch Fig. 49 erläuterten Stellung des Armes wird z. B. der Muskelzug, welcher der Last R das Gleichgewicht hält, sich zu dieser Last entsprechend dem Hebelgesetz verhalten wie die Strecke OK zu OJ. Der von dem zweiköpfigen Armmuskel, CF, dem Biceps, ausgeübte Zug wird also die in B wirkende Kraft bedeutend übertreffen. Borelli berechnet, dafs sämtliche Muskeln des Armes, wenn derselbe horizontal gehalten und an den Fingern mit 10 Pfund belastet wird, einen Zug von etwa 2000 Pfund ausüben.

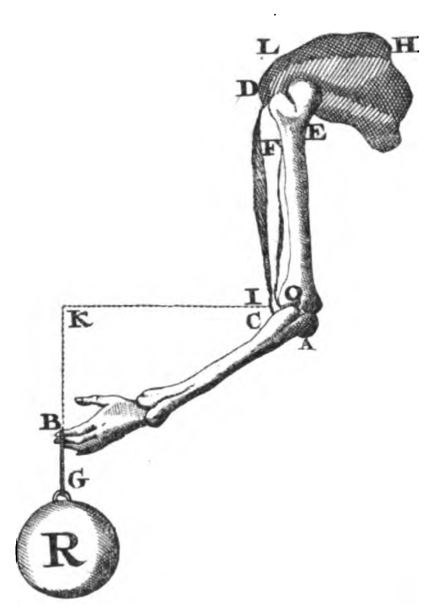


Fig. 49 Borelli erläutert die Wirkung des zweiköpfigen Armmuskels[2])

[1]) Borelius, De motu animalium. Rom 1680, Leyden, 1685.
[2]) Borelius, De motu animalium. Leyden 1685. Tab. III. Fig. 2.

Auch über die Lage des Schwerpunktes im Körper, über die Art, wie derselbe bei den verschiedenen Bewegungen, beim Aufstehen, Gehen, Laufen u. s. w. unterstützt wird, sowie über die Mechanik dieser Bewegungen selbst hat Borelli durch seine Untersuchungen Licht verbreitet.

Der hervorragendste Forscher auf den Gebieten der Anatomie, der Physiologie und der Entwicklungsgeschichte, welchen das Italien des 17. Jahrhunderts hervorbrachte, war Marcello Malpighi[1]) (1628—1694), ein Schüler und Freund Borellis. Seine Verdienste um die Einführung des Mikroskops in das naturwissenschaftliche Studium, sowie um die Begründung der Pflanzenanatomie wurden schon gewürdigt. Malpighi machte von Swammerdams Erfindung der Injektion, d. h. der Erfüllung feiner Gefäfse mit gefärbten Flüssigkeiten oder erstarrenden Massen (z. B. geschmolzenem Wachs) ausgedehnten Gebrauch. Gleich dem niederländischen Forscher, welcher die Hoffnung aussprach, dafs man durch das Studium der Insekten zu den Gründen der Zeugung anderer Tiere gleichsam hinaufsteigen werde, läfst Malpighi sich von dem richtigen Gedanken leiten, durch die Erforschung der niederen Formen ein tieferes Verständnis des Baues der höheren Tiere anzubahnen, ein Gedanke, der ihn dann zur Beschäftigung mit den Pflanzen als den einfachsten Organismen führt. So lieferte Malpighi eine für jene Zeit mustergültige Arbeit über den Seidenschmetterling[2]), dessen Anatomie und Entwicklung er eingehend untersuchte. Diese Arbeit enthält die erste Beschreibung des Rückengefäfses und des Nervensystems der Insekten, sowie der Spinndrüsen und der nach ihrem Entdecker benannten Blindsäcke, welche Swammerdam später auch an der Biene nachwies[3]). Ferner werden darin die Verdauungsorgane, der Fortpflanzungsapparat, sowie das Atmungssystem beschrieben; die von den am Hinterleib befindlichen Öffnungen ausgehenden Luftröhren oder Tracheen werden bis in ihre Verzweigungen verfolgt. Auch sucht Malpighi die Veränderungen festzustellen, welche die einzelnen Organsysteme während der verschiedenen Entwicklungsstadien des Insektes durchlaufen.

Ein Gegenstück zur Entwicklungsgeschichte des Seidenschmetterlings lieferte Malpighis Untersuchung der Entstehung eines Wirbeltieres, nämlich des Hühnchens im Ei. Es wird damit ein Problem

---

1) Professor der Medizin in Bologna, später Leibarzt von Papst Innocenz XII.

2) Malpighi, Opera omnia, London 1686.

3) Über diese sogenannten Malpighischen Gefäfse siehe auch Bd. I, Seite 103.



wieder aufgenommen, welches schon Aristoteles und den der vorigen Periode angehörenden Fabricius beschäftigt hatte. Auch zur Bewältigung dieser Aufgabe, welche erst in unserem Jahrhundert, seitdem von Baer die Embryologie zur wichtigsten Grundlage der zoologischen Forschung erhoben, einer befriedigenden Lösung entgegengeführt wurde, wurde von Malpighi zum erstenmale die Hülfe des Mikroskops in Anspruch genommen. Insbesondere wurde die Entstehung der Wirbelsäule, sowie der Gehirnabteilungen am Hühnchen verfolgt.

Während die zuletzt genannten Mikroskopiker dieses Zeitraumes bei ihren Forschungen planmäfsig zu Werke gingen, entsprangen die Untersuchungen des Niederländers van Leeuwenhoek (1632—1723) mehr der Liebhaberei als dem Bedürfnis nach Vertiefung in den Gegenstand. Leeuwenhoek eröffnete die Reihe jener Männer, welche insbesondere während des 18. Jahrhunderts eifrig mikroskopierten, um ihr Gemüt und ihre Augen zu ergötzen[1]). Dennoch ist ihm eine Fülle mikroskopischer Entdeckungen zu verdanken. Seine sich über eine Zeit von 50 Jahren erstreckenden Beobachtungen hat er der Royal Society in einer Reihe von Briefen mitgeteilt, welche später unter dem Titel „Geheimnisse der Natur" zu einem Werke vereinigt wurden[2]).

Am bekanntesten ist Leeuwenhoek durch seine 1675 erfolgte Entdeckung der Aufgufstierchen geworden, von denen er eine Anzahl Formen beschrieb. Er entdeckte ferner die Blutkörperchen und das bekannte wunderbare Schauspiel der Cirkulation des Blutes in dem Körper der Froschlarven. „Als ich den Schwanz dieses Würmchens untersuchte", so berichtet er, „nahm ich ein Schauspiel wahr, das an Entzücken alles übertraf, was ich bisher gesehen. Nicht nur sah ich das Blut durch die feinsten Gefäfse von der Mitte des Schwanzes zu den äufseren Teilen desselben strömen, sondern jedes Gefäfs machte eine Biegung und beförderte das Blut wieder zur Mitte des Schwanzes zurück, damit es von neuem zum Herzen ströme[3])." Leeuwenhoek bemerkte auch die Knospung des Süfswasserpolypen[4]), sowie die parthenogenetische Fortpflanzung der Blattläuse, welche er mit folgenden Worten schildert: „Die von mir entdeckte Art der Fortpflanzung dieser

---

1) Ledermüller, Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen. 1763.
2) Leeuwenhoek, Arcana naturae. Delphis Batavorum 1695.
3) Arcana naturae. 1695. Bd. I. Seite 173.
4) Siehe Bd. I dieses Grundrisses, Seite 122.

Geschöpfe erschien mir merkwürdiger als irgend eine der bisher bekannt gewordenen. Vergebens suchte ich nach Eiern oder Männchen. Endlich beschlofs ich, die gröfseren von ihnen aufzuschneiden, damit ich Eier aus ihrem Körper erhielt. An Stelle der Eier zog ich jedoch voll Verwunderung kleine Tierchen hervor, die in ihrem Aussehen den Muttertieren so ähnlich waren wie ein Ei dem anderen. Nicht nur eins, sondern wohl vier zog ich vollkommen ausgebildet aus demselben Körper hervor[1])." Endlich sei hervorgehoben, dafs Leeuwenhoek die Querstreifung an

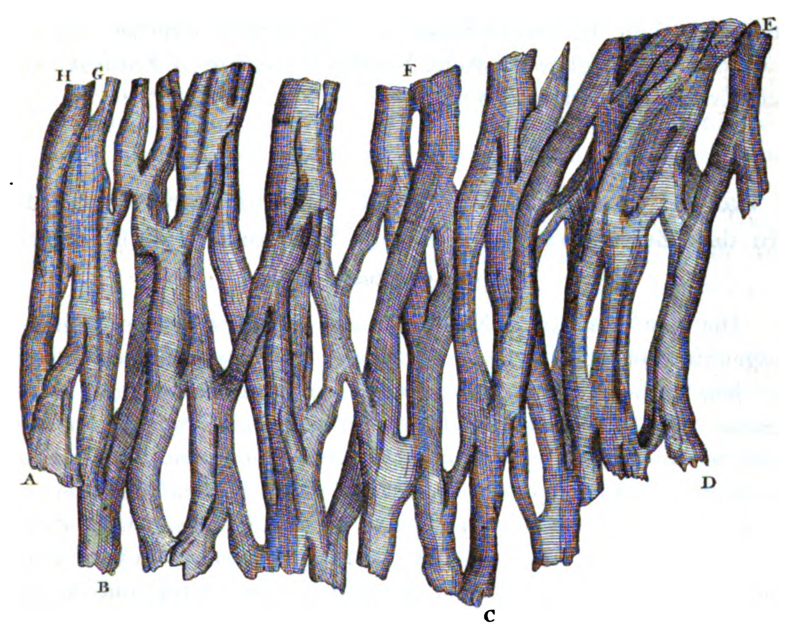



Fig. 50. Leeuwenhoeks Darstellung der Muskelfasern des Herzens.

den willkürlichen Muskeln entdeckte. Die obenstehende Figur 50 zeigt seine Darstellung einiger Muskelfasern des Herzens, welche noch dazu die Eigentümlichkeit besitzen, zu anastomosieren, während die gewöhnlichen Fasern parallel laufen[2]).

Diese Musterung der Erfolge eines Steno, Grew, Malpighi, Swammerdam und Leeuwenhoek lehrt, dafs in der zweiten

1) Arcana naturae, 1695, Bd. I. Brief 90. Die nähere Aufklärung über dies Verhalten der Blattläuse gab Bonnet im 1. Bande seiner Insektologie. Paris 1745.

2) Abbildung aus Leeuwenhoeks Arcana naturae 1695. Bd. I, Seite 447.

Hälfte des 16. Jahrhunderts der gewaltige Impuls, welcher mit der Begründung der Dynamik anhob und darauf die gesamte Physik und Astronomie ergriff, auch auf die übrigen Gebiete der Naturwissenschaften seine Wirkung übte, sodafs überall neue Grundlagen geschaffen wurden. Auf diesen hat das nachfolgende 18. Jahrhundert während des gröfsten Teiles seines Verlaufes in ruhiger Entwicklung weiter gebaut. Erst gegen das Ende desselben trat von neuem ein gewaltiger Fortschritt auf allen Gebieten ein. Derselbe kennzeichnet den Beginn der neuesten und letzten Periode in der Entwicklung der Wissenschaften, welche uns nicht nur unmittelbar in die Geschehnisse des Tages hinüberleitet, sondern auch zahlreiche Keime künftiger Verallgemeinerungen, Entdeckungen und Erfindungen in sich birgt.

## 4. Das 18. Jahrhundert bewirkt den weiteren Ausbau der in den Zeitaltern Galileis und Newtons erschlossenen Forschungsgebiete.

Die von Galilei, Newton und gleichstrebenden Geistern ausgeübte Methode, welche durch die Verknüpfung des Versuchs mit dem mathematischen Beweisverfahren zur Auffindung der Naturgesetze führt, blieb während des 18. Jahrhunderts wie zur Zeit ihrer Schöpfer im wesentlichen auf die Astronomie und die Mechanik beschränkt. Auch galt es während dieses Zeitraumes die von Newton und Leibniz ins Leben gerufene höhere Analysis zur Bewältigung derjenigen grofsen Aufgaben geeignet zu machen, welche zunächst auf den Gebieten der Astronomie, der Optik und Akustik ihrer Lösung harrten. Dafs die höhere Mathematik im Verlauf des 18. Jahrhunderts zu dem „Riesenschwerte" des Astronomen und Physikers und später des modernen Naturforschers überhaupt wurde, ist vor allem den Bernoulli und Leonhard Euler zu verdanken. Während die beiden älteren Bernoulli in erster Linie auf den geschaffenen Fundamenten das Gebäude der Differential- und Integralrechnung errichteten, sehen wir Daniel Bernoulli vorzugsweise damit beschäftigt, schwierige mechanische Probleme, bei denen die von Huygens und selbst noch von Newton befolgte geometrische Methode keine Aussicht auf Erfolg bot, vermöge des neuen Hülfsmittels zu bewältigen[1]. Daniel Bernoulli ist

[1] Jacob Bernoulli (1654—1705), Johann Bernoulli (1667—1748), Bruder des vorigen. Daniel Bernoulli (1700—1782), Sohn von Johann B.



deshalb als Hauptbegründer derjenigen Disziplin zu nennen, welche wir als mathematische Physik bezeichnen. Er führt in die Mechanik das Prinzip von der Erhaltung der Kraft ein, das schon Huygens bei seinen Untersuchungen über das zusammengesetzte Pendel vorschwebte, und bringt dasselbe bei seinen Arbeiten über die Bewegung flüssiger Körper überall zu konsequenter Durchführung (Hydrodynamik 1738)[1]. Dieses Prinzip hatte Huygens dahin ausgesprochen, dafs ein frei fallender Körper, wenn man die Bewegungsrichtung desselben ändert, nur bis zu seiner ursprünglichen Höhe wieder aufsteigen kann, da die Wirkung der Ursache äquivalent sei. Aus diesem Grunde hatte Huygens auch die Möglichkeit eines Perpetuum mobile bestritten. Obgleich Daniel Bernoulli die grofse Bedeutung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft wohl ahnte, blieb es doch dem 19. Jahrhundert vorbehalten, dasselbe in seiner Allgemeingültigkeit anzuerkennen und darauf die gesamte Naturlehre zu basieren.

Fast noch übertroffen wurden diese Leistungen Daniel Bernoullis durch diejenigen Eulers. Leonhard Euler wurde am 15. April des Jahres 1707 in Basel geboren und war ein Schüler des daselbst ein Lehramt bekleidenden Johann Bernoullis. Auf die Empfehlung Daniel Bernoullis hin wurde Euler mit 20 Jahren an die Akademie zu Petersburg berufen. Bezeichnend für seine ungewöhnliche mathematische Befähigung ist folgendes Ereignis. Als es galt, gewisse astronomische Tafeln zu berechnen, erklärten die Mathematiker der Akademie, hierzu einer Frist von einigen Monaten zu bedürfen. Euler dagegen erbot sich, jene Tafeln in drei Tagen fertig zu stellen und hielt auch Wort. Doch hatte er diese Leistung mit dem Verluste eines Auges zu bezahlen, welches er infolge einer durch die Überanstrengung herbeigeführten Krankheit einbüfste. Im Jahre 1741 berief Friedrich der Grofse durch ein aus dem Feldlager stammendes Schreiben Euler an die Berliner Akademie der Wissenschaften. 25 Jahre später kehrte der letztere jedoch, einer Aufforderung Katharinas der Zweiten folgend, nach Petersburg zurück. Trotzdem Euler bald darauf völlig erblindete, erlahmte seine wissenschaftliche Thätigkeit nicht. Noch wenige Stunden vor seinem am 7. September 1783 erfolgten Tode war er damit beschäftigt, die Bewegung des in demselben Jahre erfundenen Luftballons zu berechnen.

Eine der frühesten Arbeiten Eulers auf dem Gebiete der

[1]) Hydrodynamica seu de viribus et motibus fluidorum commentarii 1738.



angewandten Mathematik betrifft die von Newton gegebene Theorie der Gezeiten. Die französische Akademie der Wissenschaften hatte bei der Wichtigkeit des Gegenstandes im Beginn des 18. Jahrhunderts zahlreiche Flutbeobachtungen in den französischen Häfen anstellen lassen. Dabei hatte sich gezeigt, dafs man diese Beobachtungen nur zum Teil aus Newtons Theorie erklären konnte. Die Akademie schrieb deshalb im Jahre 1740 Preise über diesen Gegenstand aus. Unter den gekrönten Arbeiten befanden sich auch diejenigen Eulers und Bernoullis. Es gelang, auf der von Newton gegebenen Grundlage mit Hülfe der höheren Analysis manche Umstände, welche bei den Gezeiten mitwirken, in Rechnung zu ziehen, sodafs z. B. das Zurückbleiben der Flutwelle hinter der Kulmination des Mondes bestimmt werden konnte.

Auch die Lösung einer zweiten für die Nautik wichtigen Aufgabe, an der sich Galilei in seinen letzten Lebensjahren vergebens abgemüht hatte, des Problems der Längenbestimmung, blieb Euler vorbehalten. Galilei und das Altertum hatten ihren Berechnungen gewisse astronomische Erscheinungen wie die Verfinsterungen der Jupitermonde oder die viel seltener vorkommenden Mondfinsternisse zugrunde gelegt. Schon vor Galilei erfolgten neue Vorschläge, deren Durchführung die endliche Lösung des so lange schwebenden Problems herbeiführen sollten. Da der Mond infolge seiner Bewegung um die Erde seinen Ort rasch ändert, kann der Abstand dieses Gestirnes von bestimmten Fixsternen, welcher von Stunde zu Stunde ein anderer ist, zum Vergleich der Ortszeiten und damit zur Längenbestimmung dienen. Es würde dazu nur eine Tabelle erforderlich sein, welche für einen bestimmten Ort der Erde die Abstände des Mondes für die einzelnen Tage und Stunden angiebt. Wird dann die betreffende Distanz an dem Orte der Beobachtung zu einer anderen Tageszeit gemessen, so läfst sich aus dem Unterschiede dieser Zeiten der Längenunterschied berechnen[1]). Ein zweites in Vorschlag[2]) gebrachtes Verfahren beruht auf der Verwendung genauer Chronometer, welche während der ganzen Dauer der Reise die Zeit desjenigen Ortes angeben, den man zum Ausgangspunkte für die Längenbestimmung gewählt hat. Die Verwirklichung dieser beiden Vorschläge wurde lebhaft angestrebt, nachdem im Jahre 1713 das englische Parlament einen

[1]) Diese Methode wurde schon von Apian (1495—1552) in dessen Kosmographie (§ 5) empfohlen.

[2]) Herrührend von Gemma Frisius (1508—1555).



Preis von 20000 Pfund für die praktische Lösung des Problems ausgesetzt hatte.

Da die Bewegung des Mondes von den anziehenden Kräften der Erde und der Sonne abhängt, war dieselbe weit schwieriger zu ermitteln, als diejenige der Planeten. Noch zur Zeit Newtons betrug der Fehler bei der Vorausbestimmung einer Mondfinsternis eine Stunde und mehr. Auf Grund der Berechnungen Eulers[1]) und eigener Beobachtungen brachte dann der Astronom Tobias Mayer[2]) in Göttingen Mondtafeln zu Wege, welche den für den gedachten Zweck zu stellenden Anforderungen genügten. Die Witwe Mayers sowie auch Euler erhielten daher einen Teil des Preises.

Ein hinlänglich genau gehendes Chronometer lieferte im Jahre 1758 der Uhrmacher John Harrison. Dasselbe wies nach einer 161 Tage dauernden Fahrt einen Fehler von nur einer Minute und fünf Sekunden auf. Durch fortgesetzte Bemühungen wurde dieser Fehler noch weiter herabgemindert, worauf Harrison die Hälfte der vom Parlamente ausgesetzten Summe erhielt.

Verwickelte, nur mit Hülfe der höheren Analysis zu lösende Probleme boten die Schallerscheinungen dar. Euler untersuchte die Schwingungen von Saiten und Stäben und bestimmte die Grenzen der Hörbarkeit, welche seinen Versuchen gemäfs annähernd mit den Schwingungszahlen 20 und 7000 zusammenfallen. Überhaupt erwarb sich Euler grofse Verdienste um eine wissenschaftliche Behandlung der Musik. Nachdem die Zurückführung der akustischen Vorgänge auf die Schwingungen elastischer Körper und Medien gelungen war, mufste sich dem schon von Huygens unternommenen Versuch, die Lichtphänomene auf dieselben Prinzipien zurückzuführen, eine gröfsere Aussicht auf Erfolg darbieten. So sehen wir Euler denn auch eifrig bemüht, die Analogie der Schall- und Lichterscheinungen darzuthun. Trotz aller Klarheit, mit welcher er seine Anschauungen über die Natur des Lichtes in den Briefen an eine deutsche Prinzessin[3]) vorträgt, sowie seiner in den Denkschriften der Berliner Akademie gegebenen wissenschaftlichen Begründung dieser Anschauungen blieb die von Newton herrührende Emanationstheorie unerschüttert. Was dem blofsen, gleichfalls von einem theoretischen Standpunkte aus erfolgenden Bekämpfen einer irrigen Hypothese nicht gelang, hat die spätere Entdeckung neuer Thatsachen sofort ermöglicht. Solchen gegen-

[1]) Novae et correctae tabulae ad loca Lunae computanda. Berlin 1746.

[2]) Novae tabulae motuum Solis et Lunae. 1752.

[3]) Siehe Bd. I, Seite 149—152.

über konnte eine Hypothese, die sich nicht mit ihnen in Einklang bringen liefs, keinen Stand halten.

Auch um die Berichtigung eines anderen Irrtums Newtons machte Euler sich verdient. Ersterer hatte die Beseitigung der chromatischen Abweichung für unmöglich erklärt, da die Brechung des Lichtes stets mit einer Farbenzerstreuung verbunden sei. Infolgedessen hielt man die Vervollkommnung der dioptrischen Fernröhre für ausgeschlossen und wandte sich gleich Newton vorzugsweise der Verfertigung von Spiegelteleskopen zu, welche gegen das Ende des 18. Jahrhunderts durch Wilhelm Herschel einen hohen Grad der Vollendung erreichten. Der Ansicht Newtons gegenüber wies nun Euler im Jahre 1747 darauf hin, dafs im Baue unseres Auges das von Newton für unlösbar gehaltene Problem thatsächlich gelöst sei, da die auf der Netzhaut erzeugten Bilder den Fehler der chromatischen Abweichung nicht besitzen. Weil nun in dem Auge verschiedene brechende Medien, wie die Substanz der Hornhaut, die Linse und der Glaskörper, bei der Bilderzeugung zusammenwirken, so kam Euler auf den Gedanken, mit dem Glase eine zweite Materie in entsprechender Weise zu verbinden, um die Farbenzerstreuung zu beseitigen. Euler suchte dieses zu erreichen, indem er seine Objektivgläser, wie es nebenstehende Figur 51 erläutert, aus Glas und Wasser zusammensetzte. Dies Verfahren bot zwar in der Ausführung Schwierigkeiten, zeigte aber immerhin die Richtigkeit der Eulerschen Folgerungen, da die Bilder, wenn sie auch nicht die gewünschte Schärfe besafsen, doch frei von dem gedachten Fehler waren.

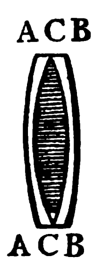


Fig. 51. Eulers aus Glas und Wasser zusammengesetztes Objektivglas [1]).

Angeregt durch diese Untersuchung Eulers kam zehn Jahre später der Optiker Dollond[2]) auf den Gedanken, anstatt Glas und Wasser zwei Glassorten von verschiedenem Brechungsvermögen zu wählen. Zunächst verfertigte er Kron- und Flintglasprismen von verschiedenen Brechungswinkeln. Beim Durchprobieren dieser Prismen ergaben sich Zusammenstellungen, bei denen der hindurchgegangene Strahl keine Farbenzerstreuung mehr aufwies und doch noch, wenn auch in geringerem Grade, gebrochen wurde. Nachdem

[1]) Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin. Leipzig 1773. Bd. III. Fig. auf Seite 299.

[2]) Geboren 1706 in der Nähe von London.

sich auf solche Weise seine Idee als durchführbar erwiesen, ging Dollond zur praktischen Verwertung derselben über. Er setzte seine Objektivgläser jetzt aus zwei Stücken zusammen, von denen das eine aus Kron-, das andere aus Flintglas bestand. Auch hierbei wurde die zweckmäfsigste Vereinigung durch Ausprobieren bewerkstelligt. Damit war das achromatische Fernrohr erfunden, welches durch Dollonds Sohn und insbesondere im Beginn des 19. Jahrhunderts durch Josef Fraunhofer einen solchen Grad der Vollendung erhielt, dafs der während des 18. Jahrhunderts herrschende Reflektor das Feld räumen mufste.

Neben diesem Wettkampf beschäftigten die Astronomen des 18. Jahrhunderts noch zwei andere wichtige Fragen, welche die vorhergehende Periode aufgeworfen hatte. Dieselben betrafen die Abweichung der Erde von der Kugelgestalt und die Bestimmung der Sonnenparallaxe aus den 1761 und 1769 wieder zu erwartenden Vorübergängen der Venus. Um die von Newton und Huygens herrührende Annahme, dafs die Erde ein an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid sei[1]), auf ihre Richtigkeit zu prüfen, waren genaue Gradmessungen in der Nähe eines Pols und des Äquators erforderlich. War der Theorie Newtons gemäfs die Krümmung in der Nähe der Pole eine geringere, so mufste sich hier für den Breitengrad eine gröfsere Strecke ergeben als für eben dieses Mafs in der Nähe des Äquators. Zur Entscheidung dieser Frage sandte die französische Regierung in den Jahren 1735 und 1736 Expeditionen nach Peru und nach Lappland. Die erstere, welche von den Akademikern Bouguer[2]) und Condamine[3]) geleitet wurde, mafs den Abstand zwischen zwei nördlich und südlich vom Äquator gelegenen Orten und fand für den Grad 56 734 Toisen. Die von Maupertuis[4]) befehligte zweite Expedition stellte ihre

---

[1]) Siehe Seite 209 ds. Bds.

[2]) Pierre Bouguer wurde im Jahre 1698 in der Bretagne geboren und starb 1758.

[3]) Charles Marie de La Condamine wurde 1701 zu Paris geboren und starb im Jahre 1774.

[4]) Pierre de Maupertuis wurde 1698 zu St. Malo geboren und trat im Jahre 1731 in die Akademie ein. Zehn Jahre später berief ihn Friedrich der Grofse nach Berlin und ernannte ihn zum Präsidenten der dortigen Akademie. Während er diese Stellung bekleidete, hat Maupertuis wissenschaftlich wenig geleistet; umso gröfseres Aufsehen erregte sein Streit mit Voltaire, welcher die Entfremdung zwischen dem letzteren und dem Könige zur Folge hatte. 1753 kehrte Maupertuis nach Paris zurück. Er starb im Jahre 1759.

Messungen in der Nähe des Torneå unter dem 66. Grade nördlicher Breite an. Das von dieser Expedition gefundene Resultat belief sich auf 57438 Toisen, war also um 704 Toisen gröfser als das am Äquator erhaltene, während sich für die Breite von 45° ein zwischen diesen beiden Gröfsen liegender Wert von 57012 Toisen ergab. Die von Newton und Huygens aufgestellte Theorie über die Gestalt der Erde hatte somit ihre Bestätigung erfahren. Nach Condamine ergab sich aus diesen Messungen, dafs sich die Erdachse zum Durchmesser des Äquators wie 299 : 300 verhält, während Newton auf rechnerischem Wege das Verhältnis 288 : 289 gefunden hatte.

Das Problem, die Entfernung und die Gröfse der Sonne und damit zugleich die Abmessungen des Planetensystems nach ihrem absoluten Werte zu bestimmen, eine Aufgabe, welche der Astronomie seit der Zeit des Aristarch vorgeschwebt, wurde gleichfalls in dieser Periode gelöst. Edmund Halley (1656—1742), ein jüngerer Zeitgenosse Newtons, der sich um die Fortbildung der Astronomie und der physikalischen Geographie grofse Verdienste erworben hat, war gelegentlich eines von ihm beobachteten Vorüberganges des Merkur vor der Sonne auf den Gedanken gekommen, ein derartiges Phänomen zur Bestimmung der Sonnenparallaxe zu verwerten, d. h. desjenigen Winkels, unter dem der Erdhalbmesser von der Sonne aus erscheint. Bei einem Merkur- oder Venusdurchgang werden nämlich die genannten Planeten Sehnen auf der Sonnenscheibe beschreiben, deren Lage und Gröfse je nach dem Orte, den der Beobachter auf der Erde einnimmt, verschieden ist. Infolgedessen wird auch die Zeit eines und desselben Vorüberganges für die einzelnen Beobachtungsstationen von verschiedener Dauer sein. Wie aus Figur 52 ersichtlich, steht die Entfernung der Sehnen cd zu den Abständen der drei Welt-

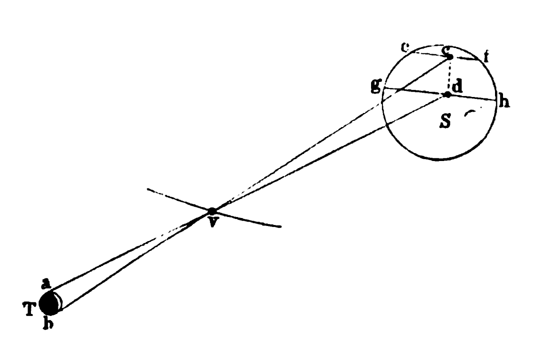



Fig. 52. Der Vorübergang der Venus[1]).

[1]) Joh. Müllers Lehrbuch der kosmischen Physik. 5. Aufl. Braunschweig 1894. Figur 97.

körper und dem durch Messungen auf der Erde seiner absoluten Gröfse nach bekannten Stück ab in einer gewissen Beziehung, sodafs sich aus den Resultaten der Beobachtung eines Venusdurchganges die Gröfse und die Entfernung der Sonne berechnen läfst[1]).

Halley selbst war es nicht mehr vergönnt, seinen Vorschlag ins Werk zu setzen, da Vorübergänge der Venus seltene Ereignisse sind und sich seit seinem Tode erst viermal wiederholt haben, nämlich in den Jahren 1761, 1769, 1874 und 1882. Sowohl für das Jahr 1761 als auch für 1769 wurden nun Expeditionen von den Kulturvölkern ausgesandt. Aus dem an der Hudsonsbay, in Kalifornien, in Lappland, in Finnland und auf Tahiti gewonnenen Beobachtungsmaterial berechnete der französische Astronom Delalande eine Parallaxe von 8,5—8,6 Sekunden. Da der mittlere scheinbare Durchmesser der Sonne sich auf 31′ 37″ = 1897 Sekunden beläuft, so ergiebt sich aus dieser Bestimmung Delalandes, dafs der Sonnendurchmesser denjenigen der Erde nahezu um das 113-fache übertrifft, oder dafs das Volumen der Sonne 1400000 mal so grofs wie dasjenige der Erde ist. Für die halbe grofse Bahnachse ergab sich ein Wert von 20682000 geographischen Meilen. Sind die Gröfsenverhältnisse des Systems bekannt, so läfst sich durch eine ähnliche Schlufsfolgerung wie diejenige, welche Newton auf die Entdeckung des Gravitationsgesetzes führte[2]), die Kraft ermitteln, mit welcher ein Körper in der Nähe der Sonnenoberfläche angezogen wird. Delalande fand, dafs diese Kraft 29 mal die Anziehung der Erde übertrifft, sodafs ein freifallender Körper auf der Sonne in der ersten Sekunde 29 × 15,09 = 434 Pariser Fufs zurücklegt. Die neueren Bestimmungen haben für die Sonnenparallaxe 8,88″ ergeben, wodurch sich der Abstand der Erde von der Sonne auf 20000000 geographische Meilen (148,6 Millionen Kilometer) vermindert, und auch die übrigen Werte entsprechende Änderungen erfahren.

Newton hatte auf theoretischem Wege nicht nur die Abplattung, sondern auch die Dichte unseres Weltkörpers ermittelt. Die erstere Bestimmung und der sich an dieselbe anknüpfende Streit hatten die Aussendung der Expeditionen nach Lappland und

[1]) Da sich die Abstände der Erde und der Venus von der Sonne wie 1 : 0,723 verhalten, so ergiebt sich die Proportion cd : ab = 0,723 : (1—0,723), woraus folgt, dafs das zunächst gesuchte Stück cd = 2,6 ab ist.

[2]) Siehe Seite 195 ds. Bds.



Quito zur Folge. In Quito nun machte Bouguer[1]) eine Entdeckung, welche später die Handhabe bot, um auch die Newtonsche Berechnung der Dichte zu verifizieren. Bouguer fand nämlich, dafs infolge der Anziehung des Chimborazo das Bleilot um 7—8″ von der senkrechten Lage abwich. Diese Beobachtung veranlafste den Engländer Maskelyne (1732 bis 1811) derartige Untersuchungen an einem nach Volumen und Dichte bekannten Berge anzustellen, um aus der Gröfse jener Abweichung und der Masse, welche sie hervorruft, die unbekannte Masse der Erde auf Grund des Newtonschen Gravitationsgesetzes zu berechnen[2]).

Fig. 53. Maskelyne und Hutton bestimmen die Dichte der Erde durch Versuche am Shehallien.

Der Abstand der durch A und B gezogenen Breitenkreise betrug 4364,4 Fufs. Dementsprechend hätten die Lote AP und BP′, wenn der Shehallien nicht vorhanden gewesen wäre, einen Winkel von 42,94 Sekunden bilden müssen, und dieser Winkel wäre gleich der Differenz der Polhöhen gewesen. Die astronomischen Beobachtungen ergaben jedoch eine Polhöhendifferenz von 54,6″. Der Unterschied von 11,6 Sekunden ist durch eine Verminderung der Polhöhe bei A um den Winkel PAQ und eine Vermehrung bei B um P′BQ′ hervorgerufen. PAQ + P′BQ′ = doppelte Ablenkung = 11,6 Sekunden.

Maskelyne wählte für seine im Jahre 1774 angestellten Messungen einen steilen, regelmäfsig geformten Granitberg Schottlands, den Shehallien. Die Dichte dieses Berges wurde auf Grund mehrerer an verschiedenen Stellen entnommenen

[1]) Siehe Seite 237 ds. Bds.

[2]) Maskelyne, An account of observations made on the mountain Shehallien for finding its attraction. Philosophical Transactions for the year 1795 (Vol. LXV). pg. 500. Nevil Maskelyne wurde 1732 zu London geboren und starb 1811 zu Greenwich als Astronom der dortigen Sternwarte. Im Jahre 1761 beobachtete er den Durchgang der Venus von St. Helena aus. Ferner war er Begutachter der Ansprüche Harrisons und Mayers an den grofsen Preis, welchen die englische Regierung für die Lösung des Längenproblems ausgesetzt hatte.

Proben zu 2,5 gefunden und aus diesem Wert und dem Volumen des Berges die gesamte auf das Pendel wirkende Masse berechnet. Die Ablenkung selbst wurde dann in der Weise bestimmt, dafs die Polhöhe nördlich und südlich von dem Berge gemessen wurde (siehe Fig. 53). Eine auf Grund der so gewonnenen Daten angestellte Rechnung ergab für die Erde als mittlere Dichte 4,71. Letztere ist danach also etwa doppelt so grofs wie diejenige des Granit, eines Gesteins, mit dem die Mehrzahl derjenigen Substanzen, welche die starre Erdkruste zusammensetzen, hinsichtlich ihrer Dichte nahezu übereinstimmt.

Durch die Lösung derartiger Aufgaben trat die Astronomie in eine immer engere Beziehung zur Physik der Erde. Aber auch die reine Physik sollte durch die Bewältigung eines astronomischen Problems eine wichtige Förderung erhalten. Im 17. Jahrhundert

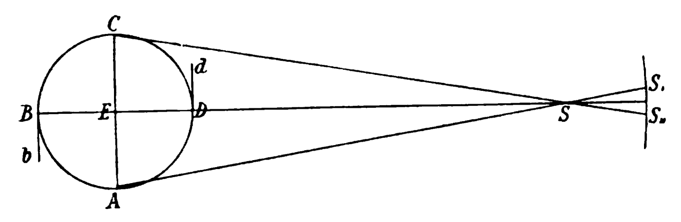



Fig. 54. Die Entdeckung der Aberration durch Bradley.

hatte Römer auf astronomischem Wege eine physikalische Konstante, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nämlich, gefunden. Jetzt bot sich eine andere Gelegenheit, dieselbe Gröfse zu ermitteln und infolge der Übereinstimmung der auf verschiedenen Wegen erhaltenen Resultate zu einem höheren Grade der Gewifsheit zu gelangen.

Seit dem Bekanntwerden des Kopernikanischen Systems war den Anhängern desselben die Aufgabe gestellt, die Revolution der Erde durch den Nachweis einer scheinbaren jährlichen Bewegung der Fixsterne darzuthun. In vorstehender Figur 54 bedeute ABCD die Erdbahn, S sei ein Stern, welcher sich in der Ebene der Ekliptik befinde. Steht nun der Durchmesser CA zu dem Abstand ES in einem nicht zu kleinen Verhältnis, so wird der Fixstern im Verlaufe eines Jahres am Himmel die scheinbare Bewegung S, S„ S, machen. Beobachtungen an einem aufserhalb der Ekliptik gelegenen Fixstern würden für denselben als scheinbare Bahn eine Kurve ergeben, deren Gestalt der von dem Sterne aus beobachteten Bahn der Erde genau entsprechen

würde [1]). Der Winkel CSE, unter dem von dem Sterne aus der Radius der Erdbahn erscheint, wird die jährliche Parallaxe des Sternes genannt. Tycho, welcher hinsichtlich der Genauigkeit seiner Messungen alle Vorgänger übertraf, mühte sich vergeblich ab, eine solche Parallaxe am Polarstern nachzuweisen und erklärte insbesondere aus diesem Grunde dem Kopernikanischen System seine Gegnerschaft. Letzteres war trotzdem zur unbestrittenen Herrschaft gelangt, ohne dafs der geforderte direkte Nachweis der Revolutionsbewegung bisher erbracht worden wäre. Da die Schärfe der astronomischen Beobachtung seit den Zeiten Tychos sich vervielfältigt hatte [2]), so wurde das alte Problem von Hooke und Cassini wieder aufgenommen. Ersterer wählte für seine Messungen den in der Nähe des Nordpols der Ekliptik befindlichen Stern $\gamma$ Draconis und wies nach, dafs dieser Himmelskörper thatsächlich seine Stellung innerhalb eines Vierteljahres um 25 Sekunden änderte. James Bradley (1692—1762), welcher nach dem Tode Halleys [3]) zum Direktor der Sternwarte zu Greenwich ernannt worden war, stellte während der Jahre 1725—1728 zu dem gleichen Zwecke zahlreiche Beobachtungen an. Neben $\gamma$ Draconis zog er indes auch andere Fixsterne in Betracht, die in der Ekliptik selbst oder zwischen dem Pole und der Ebene der Ekliptik liegen. Diese Beobachtungen liefsen scheinbare Bewegungen erkennen, welche zwar den Beweis für eine Revolution der Erde lieferten, indes doch nicht als parallaktische betrachtet werden konnten. Während nämlich $\gamma$ Draconis im Laufe eines Jahres eine nahezu kreisförmige Bahn von 40″ Durchmesser beschrieb, durchliefen die in der Ekliptik gelegenen Sterne in demselben Zeitraum zweimal eine Linie, welche unter demselben Winkel von 40″ gesehen wurde. Zwischen der Ebene und den Polen der Ekliptik befindliche Sterne endlich legten unterdessen Ellipsen zurück, deren grofse Achsen wieder 40″ mafsen und der Ebene der Ekliptik parallel waren, während der Wert der kleinen Achsen zwischen 0″ und 40″ schwankte, je nachdem der betreffende Stern der Ekliptik oder dem Pole derselben näher gelegen war [4]). Um diese scheinbaren Bewegungen auf eine Parallaxe zurückzuführen,

---

[1]) Siehe Bd. I. Seite 320.

[2]) Die Instrumente gaben damals schon einzelne Sekunden an, während die Genauigkeit sich zur Zeit Tychos nur auf Minuten belief.

[3]) Halley starb im Jahre 1742.

[4]) Bradley. Account of a new discovered motion of the fixed stars (Phil. Transact. 1728).

hätte man, da in allen Fällen derselbe Wert von 40″ wiederkehrt, zunächst annehmen müssen, dafs sämtliche Fixsterne gleichweit von der Erde entfernt seien. Dieser an sich schon unwahrscheinlichen Annahme widersprach aber die Thatsache, dafs in B und D (siehe Fig. 54) der Stern nicht an demselben Orte gesehen wurde, wie es bei der parallaktischen Bewegung doch der Fall sein müfste. Bradley fand nämlich, dafs, wenn die Erde sich in D befindet und sich in der Richtung Dd bewegt, der Stern nach $S_{,}$ verschoben erscheint. Befindet sich die Erde dagegen in B, wo ihre Bewegungsrichtung die entgegengesetzte ist, so findet die Verschiebung nach $S_{,,}$ statt. In beiden Fällen erreicht der Wert dieser Verschiebung 20″, während in C und A, wo die Bewegungsrichtung der Erde mit derjenigen des von dem Fixstern kommenden Lichtes übereinstimmt, der Stern, falls er in der Ebene der Ekliptik liegt, an seinem wahren Orte gesehen wird.

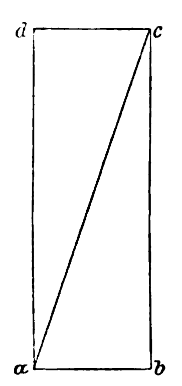


Fig. 55. Parallelogramm der Geschwindigkeiten des Lichtes und der Erde.

Auf die Erklärung dieser auffälligen Erscheinung soll Bradley durch eine alltägliche Beobachtung geführt worden sein. Er bemerkte nämlich bei einer Bootfahrt, dafs die Fahne die Windrichtung wirklich angiebt, wenn der Lauf des Schiffes mit der Richtung des Windes übereinstimmt. Änderte man dagegen den Kurs, so nahm die Fahne eine Stellung an, welche sich von den Richtungen und den Geschwindigkeiten des Windes und des Bootes abhängig erwies. Pflanzt sich, so folgerte Bradley, das Licht mit endlicher Geschwindigkeit fort, so mufs sich letztere mit derjenigen der Erde zusammensetzen. Nebenstehende Figur 55 stellt uns das Parallelogramm dieser Geschwindigkeiten dar. Zu der Zeit, in welcher sich die Erde in den Stellungen B und D (Fig. 54) befindet, beträgt ihre durch das Stück ab (Fig. 55) wiedergegebene Geschwindigkeit wie überall etwa 4 Meilen. Die Aberration erreicht dann ihren gröfsten Wert von 20″, welcher dem Winkel acb beizulegen ist. In diesem Falle verhält sich bc zu ab wie die Geschwindigkeit des Lichtes zu derjenigen der Erde. Ist der eine dieser Werte bekannt, so ist der andere durch eine einfache Beziehung gegeben[1]). Bradley erhielt so für die

[1]) $\frac{bc}{ab} = \text{cotg } 20''$ ; $bc = ab \cdot \text{cotg } 20''$.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, fast in Übereinstimmung mit dem von Römer gefundenen Resultat, den Wert von 40000 Meilen. Beide auf astronomischem Wege erhaltenen Bestimmungen fanden um die Mitte des 19. Jahrhunderts eine Bestätigung durch terrestrische, nach rein physikalischer Methode angestellte Messungen.

Während die Physik im 17. Jahrhundert ihre Fortschritte vorzugsweise auf den Gebieten der Mechanik und der Optik, den ältesten Zweigen der Naturlehre, zu verzeichnen hatte, war das 18. Jahrhundert insbesondere dem Ausbau des von Gilbert und Guericke erschlossenen Gebietes der Reibungselektricität gewidmet. Gilbert hatte zum erstenmale den Unterschied zwischen magnetischer und elektrischer Anziehung scharf hervorgehoben[1]), während Guericke die elektrische Abstofsung entdeckt und die erste maschinelle Vorrichtung zur Erzeugung von Elektricität ins Leben gerufen hatte. Leider wurde Guerickes Apparat zunächst nicht benutzt. Man begnügte sich damit, Elektricität zu erzeugen, indem man Glas, Bernstein, Kopal und andere geeignete Substanzen aus freier Hand rieb. Trotzdem gelang es, elektrische Entladungen von solcher Wirkung hervorzurufen, dafs nicht nur ein Knistern, sondern auch das Auftreten von Funken bemerkt wurde. Ein Beobachter erwähnt sogar, „dieses Licht und Knistern scheine einigermafsen Blitz und Donner vorzustellen“[2]).

Der Fortschritt auf dem der unmittelbaren Beobachtung wenig zugänglichen Gebiet der Reibungselektricität mufste aber ein sehr langsamer bleiben, so lange es sich um vom Zufall abhängige, durch keine Theorie verknüpfte Versuche handelte. Diesem allerersten Stadium jeder exakten Wissenschaft sollte keiner der Hauptzweige der Physik so spät entwachsen wie gerade die Elektricitätslehre. Erst im Verlaufe des 18. Jahrhunderts tritt dieselbe in das zweite Stadium ein, welches dadurch charakterisiert ist, dafs man zu einem planmäfsigen, von hypothetischen Vorstellungen geleiteten Experimentieren übergeht. Als Repräsentant jenes ersten Stadiums mufs selbst noch Dufay gelten, dessen Thätigkeit in den Beginn des 18. Jahrhunderts fällt, während Aepinus und Franklin, auf den Schultern der Genannten stehend, dem zweiten Zeitraum angehören. Der gegen das Ende des 18. Jahrhunderts anhebenden Epoche blieb es dann vorbehalten, durch messende Beobachtung

---

[1]) Siehe Bd. I, Abschnitt 9.

[2]) Der Engländer Wall in den Philosoph. Transact. v. 1698.



zu den Gesetzen der Reibungselektricität zu gelangen[1]). Hieran erst konnte sich das deduktive, von den Hülfsmitteln der Mathematik und der Mechanik Gebrauch machende Verfahren anreihen, womit auch auf diesem Gebiete endlich diejenige Stufe erreicht war, welche der Wissenschaft nach einem Ausspruch Galileis in allen ihren Teilen erst eine würdevolle Behandlung verleiht[2]).

Eine Anzahl der fundamentalsten Versuche verdankt die Elektricitätslehre dem Franzosen Dufay (1698—1739)[3]). Die von Dufay verfertigten Blattgoldelektroskope führten diesen Forscher zu der Entdeckung, dafs es zwei Arten der Elektricität giebt. Dufay ging von der Voraussetzung aus, dafs ein mit dem Glasstab elektrisiertes Blättchen von jedem Körper, der durch Reiben in den gleichen Zustand versetzt sei, abgestofsen werden müsse. Diese Voraussetzung bestätigte sich indes nicht, denn als er dem Blättchen geriebene Kopalstücke und andere harzartige Körper näherte, wurde es von letzteren angezogen. Dufay war der erste, welcher aus diesem Grunde zwei Arten von Elektricität unterschied, welche er als Harz- und Glaselektricität bezeichnete. Später erkannte man indes, dafs diese Benennungen irreführend sind, da harzartige Körper mit Glaselektricität, glasartige dagegen mit Harzelektricität geladen werden können[4]). Deshalb wurden die Glas- und die Harzelektricität als positive und negative Elektricität bezeichnet. Dufay war es auch, der zuerst auf den Zusammenhang zwischen dem Leitungsvermögen und der Elektrisierbarkeit der Körper aufmerksam machte. Man fing nun an, die Nichtleiter in ausgedehnter Weise als Isolatoren zu benutzen. So gelang es dem genannten Forscher, einen an Haarschnüren oder an seidenen Stricken hängenden Menschen zu elektrisieren und demselben Funken zu entlocken.

Die ersten Beobachtungen über die Fortleitung der Elektricität rühren bekanntlich von Guericke her. Ausgedehntere Versuche über dieses Verhalten stellte zuerst ein Zeitgenosse Dufays, der Engländer Stephan Grey, an. Er verschlofs eine Glasröhre vermittelst eines Korkstopfens, um zu untersuchen, ob sie sich so vorbereitet in gleicher Weise durch Reiben elektrisieren lasse.

[1]) Vier Abhandlungen über Elektricität und den Magnetismus von Coulomb (1785—1786). (Ostwalds Klassiker Nr. 13.) Leipzig, Wilhelm Engelmann. 1890.

[2]) Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen (Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 80).

[3]) Six Mémoires sur l'électricité, erschienen in den Memoiren der Pariser Akademie von 1733 und 1734.

[4]) Siehe auch die Ausführungen von Aepinus, Bd. I ds. Grdr., Seite 158.

Grey bemerkte keinen Unterschied, fand aber, dafs der Stopfen gleichfalls elektrisch geworden war, da er auf eine Feder wie die Glasröhre wirkte. Darauf steckte er in den Stopfen einen Holzstab, der am andern Ende eine Elfenbeinkugel trug. Wurde nun die Glasröhre gerieben, so zeigte sich die Kugel gleichfalls elektrisch. Die Zustandsänderung hatte sich also von dem Glase aus durch das Holz bis auf die Kugel fortgepflanzt. Um die Frage zu entscheiden, bis auf welche Entfernung eine derartige Fortpflanzung möglich sei, ersetzte Grey den Holzstab durch einen ausgespannten Faden, der in seidenen Schleifen ruhte. Es gelang eine Wirkung auf Entfernungen bis zu 700 Fufs nachzuweisen. Liefs man den Bindfaden nicht auf Seide, sondern auf Draht ruhen, so mifslang der Versuch. Auch hierdurch wurde man auf den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern aufmerksam gemacht. Als letztere lernte man Haare, Seide, Harz und Glas kennen und zu ferneren Versuchen benutzen.

Nachdem man gefunden, dafs der menschliche Körper in den elektrischen Zustand versetzt werden kann, wurde dieser Versuch auch auf andere Leiter ausgedehnt. Dadurch wurde man auf eine eigentümliche Entdeckung geführt. Zwei Leydener Physiker[1]) suchten Wasser, welches sich in einem isolierenden Glasgefäfs befand, dadurch zu elektrisieren, dafs sie es vermittelst eines Drahtes mit einer geriebenen Glasröhre in Verbindung setzten. Als der eine von ihnen zufällig das Gefäfs in der Hand hielt und zu gleicher Zeit die Röhre berührte, erhielt er einen heftigen Schlag, welcher besonders im Arm und in der Brust zu spüren war. In der betreffenden Mitteilung, welche 1746 nach Paris gelangte, hiefs es, man sei in Leyden auf einen erschrecklichen Versuch geraten, dem sich die Erfinder nicht um die Krone Frankreichs zum zweitenmale aussetzen würden. Die Entdeckung erregte grofses Aufsehen und führte der Beschäftigung mit elektrischen Versuchen zahlreiche Liebhaber zu. Jene Vorrichtung, welche man in der Folge als die Leydener Flasche bezeichnete, wurde in Frankreich im Beisein des Königs durch eine Kette von mehr als hundert Personen entladen. Das Wasser, sowie die Hand, welche bei dem ursprünglichen Versuch die Rolle des Belags gespielt hatten, wurden bald darauf durch Zinn ersetzt. Auch machte man die Beobachtung, dafs die Leydener Flasche die Elektricität lange Zeit behält und sich nicht laden läfst, wenn sie isoliert ist. Zu einem

[1]) Musschenbroek und Cunaeus.

Verständnis dieses Verhaltens gelangte erst Franklin. Als der letztere eine an einem Seidenfaden hängende leichte Kugel dem inneren Belage näherte, wurde diese in bekannter Weise zunächst angezogen, dann aber, nachdem sie gleichfalls elektrisch geworden war, wieder abgestofsen. Näherte man die Kugel jetzt dem äufseren Belag, so wurde sie angezogen. Die Beläge sind somit entgegengesetzt geladen, und die Entladung der Flasche besteht in dem Ausgleich dieser entgegengesetzten Elektricitäten.

Die weitere Erforschung der Reibungselektricität wurde dadurch aufserordentlich gefördert, dafs man nach dem Vorgange Guerickes zur Anwendung maschineller Vorrichtungen zurückkehrte. Einem Leipziger Professor der Physik[1]) wurde im Jahre 1743 von einem seiner Zuhörer der Vorschlag gemacht, sich das mühevolle Reiben der Glasröhre dadurch zu ersparen, dafs er eine gröfsere Glaskugel in Drehung versetze. Dieser Vorschlag erwies sich als über Erwarten praktisch, zumal nachdem ein Leipziger Handwerker den neuen Apparat mit dem ersten Reibzeug versehen hatte, welches aus einem wollenen Kissen bestand. Bald darauf wurde neben der Glaskugel ein isolierter Metallkörper als Konduktor angebracht. Diesen Konduktor finden wir schon wenige Jahre, nachdem Hansen seine Maschine gebaut, mit einem Saugkamm versehen[2]), sodafs noch vor Ablauf der ersten Hälfte des Jahrhunderts die Elektrisiermaschine in ihrer noch jetzt gebräuchlichen Einrichtung den Physikern zu Gebote stand. Im weiteren Verlaufe des 18. Jahrhunderts ersetzte man die Kugel durch die handlichere Glasscheibe[3]) und versah das Reibzeug mit dem bekannten von Kienmayer empfohlenen Amalgam[4]).

Die Elektrisiermaschine kam nun sozusagen in Mode. Das Interesse, welches ihr bemittelte Dilettanten entgegenbrachten, bewirkte, dafs sie schliefslich gewaltige Dimensionen annahm[5]). In rascher Folge wurden jetzt die wichtigsten Erscheinungen der Reibungselektricität entdeckt. Die zündende Wirkung des Funkens wurde an Schiefspulver, Äther und anderen brennbaren Substanzen dargethan. Es gelang sogar, vermittelst eines elektrisierten Wasserstrahles Weingeist in Brand zu setzen. Auch versuchte man die

1) Namens Hansen.

2) Durch Wilson im Jahre 1746.

3) 1755.

4) Journal de Phys. 1788.

5) v. Marum, Description d'une très-grande machine électrique et des expériences faites par le moyen de cette machine. 1785.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität zu bestimmen, indem man den Schlag einer Leydener Flasche durch einen tausend Toisen langen Draht leitete. Da sich hierbei keine mefsbare Zeitdifferenz ergab, so konnte man zunächst nur auf eine sehr grofse Geschwindigkeit schliefsen. Diese zu bestimmen war ein neues, sinnreiche Methoden erforderndes Problem der Experimentalphysik. Auch der naheliegende Gedanke, das Verhalten des Funkens im Vakuum zu untersuchen, kam zur Ausführung [1]). Hierbei zeigte sich, dafs die Elektricität den luftleeren Raum auf eine beträchtliche Strecke durchdringt. Nach der Beschreibung des ersten Beobachters erfüllte das elektrische Feuer die ganze Röhre, sodafs man, solange die Maschine in Bewegung blieb, eine ununterbrochene Lichterscheinung wahrnahm. Dafs der weitere Verfolg dieses Versuches zur Erfindung der Geifslerschen Röhre und endlich in der neuesten Zeit zur Entdeckung eigentümlicher Strahlengattungen führte, ist bekannt.

Dieser Welt von neuen wunderbaren Erscheinungen gegenüber, denen man nichts ähnliches an die Seite stellen konnte, erhob sich schon bei den Elektrikern des 18. Jahrhunderts die Frage nach einer Ursache derselben. War die Elektricität ein Stoff, so liefs sich erwarten, dafs die Körper durch das Elektrisieren eine Gewichtszunahme erfahren würden. Alle Bemühungen, die nach dieser Richtung angestellt wurden, blieben jedoch ohne Erfolg [2]). Zu demselben Ergebnis war man gelangt, als man Gegenstände in erhitztem Zustande und bei gewöhnlicher Temperatur wog. Aus diesen Versuchen wurde nun keineswegs gefolgert, dafs die Elektricität und die Wärme blofse Zustände seien, sondern es wurde der Begriff der unwägbaren Materie oder Imponderabilie, aus welchem man ja auch die Lichterscheinungen zu erklären suchte, auf die elektrischen. die verwandten magnetischen und die kalorischen Vorgänge ausgedehnt. Diese Lehre von den Imponderabilien hat die Physik bis in das 19. Jahrhundert hinein beherrscht. Sie wurde bezüglich der Wärme zuerst von Rumford und Davy erschüttert; ihre endgültige Beseitigung auf allen Gebieten ist eine Aufgabe, welche die Wissenschaft bis auf unsere Tage beschäftigt hat.

Obgleich die Lehre von den Imponderabilien nicht imstande war, einem vorgeschrittenen Kausalitätsbedürfnis zu genügen, bot sie bei dem Stande des Wissens, den das 18. Jahrhundert errungen,

---

1) Watson in Philos. Transact. Bd. XLVIII, 367.
2) J. C. Fischer, Geschichte der Physik. 1801—1808. V. 483.

doch die einzige Möglichkeit einer Erklärung. Diejenigen, welche die Lichterscheinungen auf die Fortbewegung eines besonderen Stoffes zurückführten, waren auch gezwungen, weitere Stoffe als Träger der Wärme, der elektrischen und der magnetischen Vorgänge anzunehmen. Einfacher gestaltete sich die Theorie der Elektricität bei solchen Physikern, welche die Lichterscheinungen auf Wellenbewegung zurückführten. So besteht für Euler kein Zweifel, dafs die Quelle aller elektrischen Vorgänge in dem Äther zu suchen sei, in welchem sich das Licht fortpflanzt. Die Elektricität, meint er, sei nichts als eine Störung im Gleichgewichte dieses Äthers, welcher in die Körper hineingeprefst oder aus denselben herausgetrieben werde, je nachdem dieselben die eine oder die andere Art des Erregungszustandes aufweisen[1]).

Von einer ähnlichen Vorstellung liefs sich Franklin bei seinen Untersuchungen leiten. Die Körper waren für ihn positiv oder negativ elektrisch, je nachdem sie ein Zuviel oder ein Minder des hypothetischen elektrischen Fluidums enthielten, während sie unelektrisch seien, wenn sich dieses Fluidum aufserhalb und innerhalb des Körpers im Gleichgewicht befände. Andere wieder, wie Symmer, zogen es vor, die verschiedenen elektrischen Zustände aus der Annahme zweier Fluida zu erklären. Der hieraus entstehende Streit der Unitarier und Dualisten, so zwecklos er an sich auch war, bewirkte, dafs die experimentelle Erforschung der in Frage kommenden Phänomene lebhaft gefördert wurde. Das Interesse für dieselben wurde ein solch allgemeines, dafs den Physikern von Beruf mancher Bundesgenosse aus dem Laienkreise erstand. Der hervorragendste unter den letzteren war der soeben genannte Franklin.

Benjamin Franklin wurde am 17. Januar 1706 in Governors Island bei Boston geboren. Sein Vater hatte den englischen Heimatsboden verlassen, weil er dort nicht ungehindert seiner religiösen Überzeugung leben konnte. Da er sich und seine zahlreiche Familie durch Seifensieden nur mühsam ernährte, so wurde der junge Benjamin frühzeitig von der Schule genommen und seinem älteren Bruder, einem Buchdrucker, in die Lehre gegeben. Nachdem Franklin einige Zeit in England als Setzer thätig gewesen rief er in Philadelphia eine Zeitung und eine Druckerei ins Leben.

Zur Beschäftigung mit der Elektricitätslehre wurde Franklin

---

[1]) Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin. Leipzig 1773. Bd. II. S. 245 ff.



dadurch angeregt, dafs der Londoner Kaufmann Collinson der Bibliotheksgesellschaft zu Philadelphia einige Gegenstände für elektrische Versuche übersandte. Ein Jahr später konnte Franklin an Collinson schreiben[1]: „Mein Eifer und meine Zeit wurden nie zuvor durch etwas in solchem Mafse in Anspruch genommen. Ich stelle Versuche an, sobald ich allein sein kann und wiederhole dieselben in Gegenwart meiner Freunde, welche in Scharen kommen, um sie zu sehen. Ich habe kaum Zeit für irgend etwas anderes.“ Seine Resultate legte Franklin in einer Anzahl von Briefen nieder, welche zum gröfsten Teil an Collinson gerichtet sind und von diesem der Royal Society mitgeteilt wurden. Die ersten Briefe handeln von der Ladung der Leydener Flasche und der unitarischen Hypothese; spätere betreffen das Gebiet der atmosphärischen Elektricität, welches durch Franklins Arbeiten erst erschlossen wurde.

Als die griechische Philosophie an die Stelle der mythischen Betrachtung eine ursächliche Erklärung des Naturgeschehens zu setzen begann, führte man das Gewitter auf schweflige, brennbare Dünste zurück, die sich in den Wolken ansammeln und als Blitz die letzteren durchbrechen sollten. Selbst im 17. Jahrhundert ahnte noch niemand die wahre Ursache der Erscheinung. Nach Descartes bestand das Gewitter in einem Herabfallen der oberen Wolken auf die darunter befindlichen. Euler erzählt, dafs man die ersten, welche eine Ähnlichkeit zwischen den elektrischen Erscheinungen und dem Blitz zu finden vermeinten, als Träumer angesehen habe[2]. Was im Beginn des 18. Jahrhunderts als blofse Vermutung geäufsert wurde, erhob nun Franklin durch seine Untersuchungen auf den Boden der Gewifsheit. Für die Identität des Blitzes mit dem elektrischen Funken führt er folgende Gründe und Beweise an[3]: 1. Die Ähnlichkeit des Lichtes, sowie des Geräusches und das fast Momentane beider Erscheinungen. 2. Der Funke wie der Blitz sind imstande, Körper zu entzünden. 3. Beide vermögen lebende Wesen zu töten. (Franklin tötete ein Huhn durch die Entladung mehrerer Leydener Flaschen.) 4. Beide rufen mechanische Zerstörungen hervor und erzeugen einen Geruch nach verbranntem Schwefel[4]. 5. Der Blitz und die Elektricität folgen

---

[1]) In dem ersten der an Collinson gerichteten Briefe vom 28. III. 1747.

[2]) Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin. 1773. Bd. II, Seite 287.

[3]) Franklin, Experiments and observations on electricity, 1769.

[4]) Das Bestreben, die Ursache dieses sogenannten elektrischen Geruches

denselben Leitern und springen vorzugsweise auf die Spitzen über. 6. Beide sind imstande, den Magnetismus zu zerstören oder auch die Pole eines Magneten umzukehren. 7. Durch den Funken können ebenso wie durch den Blitz Metalle zum Schmelzen gebracht werden. An die Experimente, durch welche Franklin den letzten Punkt dieser Aufzählung zu erweisen suchte, knüpfte sich eine Kontroverse mit seinem Freunde und Nachbarn Kinnersley. Dieser befafste sich nämlich gleichfalls mit elektrischen Versuchen und führte sie als wandernder Experimentator seinen Landsleuten vor. Franklins Verfahren, Metalle durch den Funken zu schmelzen, bestand darin, dafs er dünne Blättchen von Zinn oder Gold zwischen zwei Glasscheiben legte und eine grofse Leydener Flasche durch diese Blättchen entlud [1]). Letztere wurden dadurch in feine Partikel zerstiebt, ein Vorgang, welchen Franklin als kalte Schmelzung bezeichnete, da ihn seine Methode die bei der Entladung auftretende Wärme nicht erkennen liefs. Die kalte Schmelzung sollte nicht durch Hitze, sondern dadurch zustande kommen, dafs das elektrische Fluidum in die Zwischenräume der Partikelchen eindringe und auf diese Weise den Zusammenhang der Körper zerstöre. Demgegenüber zeigte nun Kinnersley, indem er die Entladung einer Batterie von 35 Flaschen durch einen Draht vor sich gehen liefs, dafs Metalle zum Erglühen und sogar zum Schmelzen gebracht werden können. „Ihr herrlicher Versuch," schrieb darauf Franklin, „setzt aufser Zweifel, dafs unsere künstliche Elektricität Hitze hervorbringt und dafs, wenn sie Metalle schmilzt, dies nicht durch das geschieht, was ich als kalte Schmelzung bezeichnet habe [2])." Nicht nur die Wärmeentwicklung, sondern auch die chemische Wirkung der Elektricität wurde schon in diesem Zeitalter, also noch vor der Erfindung der galvanischen Elemente, bekannt. In Europa angestellte Versuche lieferten nämlich den Nachweis, dafs sich mit Hülfe des Entladungsschlages aus Metalloxyden Metalle herstellen lassen. So erhielt ein italienischer Physiker auf diesem Wege Zink aus Zinkoxyd und Quecksilber aus Zinnober [3]).

Den direkten Nachweis der atmosphärischen Elektricität lieferte Franklin durch seinen berühmt gewordenen Versuch mit dem

---

zu ermitteln, führte später zur Entdeckung des Ozons. Siehe Bd. I ds. Grundrisses, Seite 336.

1) Franklin in seinem 5. Briefe an Collinson.

2) Franklins Brief an Kinnersley vom 20. II. 1762.

3) Beccaria, Lettere dell' elettricismo, pg. 282. Siehe J. C. Fischer, Geschichte der Physik (1801—1808). Bd. V. 753.

Drachen. Letzterer besafs eine eiserne Spitze und wurde im Juni des Jahres 1752 während des Gewitters an einer Hanfschnur emporgelassen. Die Schnur war an einen Schlüssel geknüpft, welcher mit einem seidenen Tuche festgehalten wurde. Zuerst blieb der erhoffte Erfolg aus. Als die Schnur jedoch feucht geworden war und eine Wolke an dem Drachen vorüberzog, sträubten sich die losen Fäden, und als Franklin jetzt die Knöchel seiner Hand dem Schlüssel näherte, vermochte er deutliche Funken aus demselben hervorzuziehen. Das zweite von Franklin in Vorschlag gebrachte Verfahren, welches indes in Europa früher zur Ausführung gelangte als in Amerika, bestand darin, dafs man hohe Eisenstangen errichtete und diesen während des Gewitters Elektricität entzog, ein Versuch, welchen fast zur selben Zeit, als Franklin seinen Drachen steigen liefs, einige Franzosen in der Nähe von Paris dem Könige vorführten. Später entdeckte Franklin, dafs die Wolken bald positiv, bald negativ geladen sind. Diese Untersuchungen führten ihn schliefslich auf die Idee, jene Eisenstangen als Blitzableiter zum Schutze von Gebäuden zu empfehlen[1], ein Vorschlag, welcher in Amerika und bald darauf auch in Europa allseitige Beachtung fand. Wir haben im I. Bande einen späteren aus Paris datierten Brief kennen gelernt, in welchem Franklin über seine Erfindung, sowie die Überlegungen, welche ihn darauf geleitet haben, berichtet[2].

Ebenso bekannt wie durch seine wissenschaftlichen Erfolge ist Franklin durch die Rolle geworden, welche er in der politischen Geschichte seines Vaterlandes gespielt hat. Während des amerikanischen Unabhängigkeitskampfes hielt sich Franklin in Paris auf, wo er im Jahre 1783 die Friedenspräliminarien unterzeichnete. Die Bewunderung, welche dem schlichten und doch so bedeutenden Manne von ganz Frankreich gezollt wurde, fand einen beredten Ausdruck in dem von d'Alembert an ihn gerichteten Worte: Eripuit coelo fulmen sceptrumque tyrannis. Der Tod Franklins (am 17. April des Jahres 1790) versetzte, wie die von Washington gehaltene Rede bekundet, sein Vaterland in tiefe Trauer. Auch Europa, wo Mirabeau ihm einen Nachruf widmete, nahm lebhaften Anteil. Es war ein Moment, in welchem das Gefühl der geistigen Zusammengehörigkeit zwischen der alten Welt und der jungen neuen Stätte der Kultur jenseits des Ozeans voll zum Ausdruck

1) Es geschah dies in seinem vom 12. September 1753 datierten Briefe.
2) Siehe Bd. I, Seite 163.



kam. Zwar sollte die Mitarbeit des amerikanischen Volkes an den Aufgaben der Wissenschaft nicht sobald Platz greifen, wie man nach den Erfolgen eines Franklin hätte erwarten mögen. Es harrten eben noch zu viele andere Aufgaben ihrer Erledigung, sodafs ein volles Jahrhundert verstreichen konnte, bis die Wissenschaft dort die gleiche Pflege fand, welche sie in den alten Staaten Europas geniefst.

Neben der durch Reibung und durch atmosphärische Vorgänge erzeugten Elektricität lernte man auch die Erregung dieser Kraft durch physiologische Prozesse und durch Wärmezufuhr kennen. Um die Mitte des 18. Jahrhunderts tauchte die Vermutung auf, dafs man es in der schon von den Schriftstellern des Altertums erwähnten eigentümlichen Wirkung des Zitterrochens auf den Menschen und andere lebende Wesen mit einer elektrischen Erscheinung zu thun habe. Seit Richers Anwesenheit in Cayenne war man auch mit dem Zitteraal der südamerikanischen Gewässer bekannt geworden. Indes erst ein Jahrhundert, nachdem Richer[1]) über dieses eigentümliche Geschöpf berichtet, hatte sich die Elektricitätslehre soweit entwickelt, dafs man die Identität jener physiologischen und der durch Reibung erzeugten Phänomene nachzuweisen vermochte. Dies geschah einmal dadurch, dafs man den Impuls durch eine Kette von Personen leitete, wobei die erste und die letzte den Fisch an der Ober- beziehungsweise an der Unterseite berührten. Alle empfingen dann einen Erschütterungsschlag, wie ihn die Leydener Flasche erteilt. Der zweite Nachweis bestand darin, dafs man die Entladung durch einen auf Glas geklebten Stanniolstreifen vor sich gehen liefs, welcher eine Unterbrechung besafs. An der Stelle, wo sich diese befand, sah man bei jedem Schlage, den der Fisch bewirkte, einen elektrischen Funken überspringen[2]).

Noch ein zweites, schon lange bekanntes Phänomen wurde um die Mitte des 18. Jahrhunderts als ein elektrisches gedeutet. Bei der von den Juwelieren an Edelsteinen ausgeübten Prüfung konnte es nicht lange verborgen bleiben, dafs der Turmalin, wenn er auf glühende Kohlen gelegt wird, Aschenteilchen anzieht und wieder von sich stöfst[3]). Dieses eigentümliche an das elektrische Pendel erinnernde Verhalten leichter Körper dem erwärmten Turmalin gegenüber

1) Im Jahre 1671.

2) Fischer, Geschichte der Physik, Bd. V, Seite 867.

3) Der Turmalin wurde daher auch als Aschentrecker (Aschenzieher) bezeichnet.



wurde von Aepinus[1]) genauer untersucht. Letzterer fand, dafs die Erscheinung nur bei ungleicher Erwärmung der beiden Enden des Krystalls eintritt, sowie dafs diese dabei entgegengesetzt elektrisch werden. Der 27. Abschnitt des I. Bandes hat uns mit der von Aepinus selbst gegebenen Darstellung dieses Verhalten sbekannt gemacht. Später hat man diese Erscheinung als eine pyroëlektrische bezeichnet und sie auch an anderen Mineralien wahrgenommen[2]). Aepinus entdeckte ferner, wie seine an derselben Stelle beschriebenen Versuche darthun, die als Influenz bekannte Erregung, welche bei der blofsen Annäherung eines elektrisierten an einen isolierten Körper in dem letzteren hervorgerufen wird. Die Beobachtung, dafs sowohl der durch Erwärmung, wie der durch Influenz elektrisierte Körper an beiden Enden entgegengesetzte Elektricitäten aufweist, veranlafste Aepinus, eine Analogie zwischen den elektrischen und den magnetischen Erscheinungen, bei denen bekanntlich stets eine solche Polarität wahrgenommen wird, zu behaupten. Die Zeit, den innigen Zusammenhang der Naturkräfte zu erkennen, war jedoch noch nicht gekommen; es war dies vielmehr die vornehmlichste Aufgabe, welche der naturwissenschaftlichen Forschung des 19. Jahrhunderts vorbehalten blieb.

Während der Hauptanreiz zum Studium der elektrischen Phänomene in dem Wunderbaren und Aufsergewöhnlichen lag, das sich in ihnen offenbart, wandte man sich den Erscheinungen der Wärme mit wachsendem Interesse zu, seitdem man die bewegende Kraft des Dampfes kennen und verwerten gelernt hatte. Durch die Versuche Herons von Alexandrien war schon das Altertum mit den Äufserungen dieser Kraft bekannt geworden. Dazu waren seit Beginn der neueren Zeit die Bemühungen Portas[3]) und anderer gekommen. Der fundamentale Versuch, welcher zur Erfindung der Dampfmaschine führte, von der doch erst die Rede sein konnte, sobald die unter dem Namen der einfachen Maschinen bekannten Mechanismen durch den Dampf in Bewegung gesetzt wurden, rührt von Papin her. Es ist dies ein Versuch, welcher noch heute beim elementaren Physikunterricht angestellt wird. Papin verdampfte Wasser in einem Gefäfs, das nach oben in eine Röhre auslief. Die Verlängerung enthielt einen luftdicht schliefsenden Kolben, welcher beim Erhitzen durch den Dampf emporgehoben, bei einer

---

[1]) Siehe Bd. I, Seite 157.

[2]) So am Kalkspat, Gyps, Feldspat, Flufsspat, Diamant etc. Siehe C. F. Naumann, Elemente der Mineralogie. 10. Aufl. 1877. Seite 166. (13. Aufl. 1898.)

[3]) Siehe Seite 98 ds. Bds.

darauf folgenden Abkühlung aber infolge des Luftdruckes wieder abwärts bewegt wurde. Durch die Verbindung dieses einfachen Apparates mit dem zweiarmigen Hebel entstand die Dampfmaschine in ihrer einfachsten, ihr von dem Engländer Newcomen gegebenen Gestalt.

Technische Erfindungen von epochemachender Bedeutung lassen sich meist auf ein zwingendes Bedürfnis zurückführen. Ein solches war es auch, das die Dampfmaschine gerade zur rechten Zeit und an rechter Stelle ins Leben treten hiefs. In England war man schon im Mittelalter auf den Schatz aufmerksam geworden, den der Boden in den mineralischen Brennstoffen enthält. In dem Mafse, in welchem das Land den Schmuck seiner Wälder einbüfste, nahm der Abbau der Steinkohle an Umfang zu. Man mufste die vorhandenen Flöze bis in immer gröfsere Tiefen verfolgen und befand sich schliefslich der Unmöglichkeit gegenüber, durch Tier- und Menschenkraft die Wasserhaltung in den Gruben aufrecht zu erhalten. Diesem Zwecke wurde nun im 18. Jahrhundert der Dampf dienstbar gemacht. Nach vielen mühsamen Versuchen gelang es Newcomen im Jahre 1712, eine Maschine in Gang zu setzen, welche zwar nur zehn Hube in der Minute machte, aber schon eine Wassermenge förderte, zu deren Bewältigung vorher 50 Pferde und die sechsfachen Kosten erforderlich gewesen waren. Bei der Maschine Newcomens (siehe Fig. 56) fiel dem Dampf nur die Aufgabe zu, den

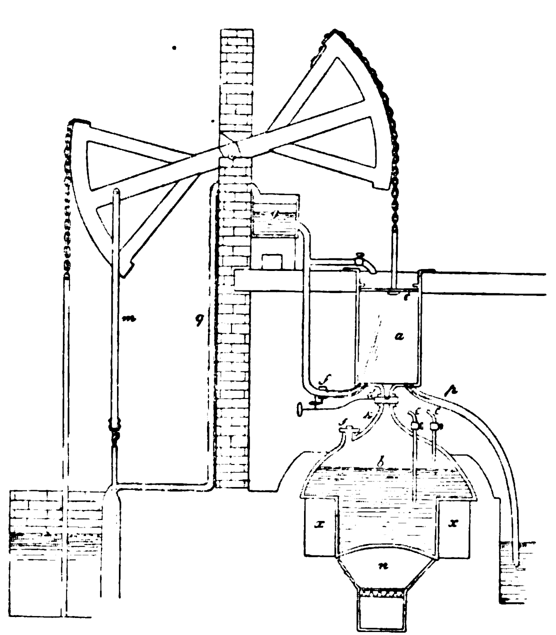


Fig. 56. Newcomens Dampfmaschine[1]).

[1]) Gehler, Physikalisches Wörterbuch, Bd. II, Tab. XIII, Fig. 133.

Kolben t emporzuheben und durch Vermittlung des Balanciers das Pumpengestänge hinabzulassen. Die weit gröfsere bewegende Kraft, welche zum Heben des Wassers erforderlich war, rührte nicht vom Druck des Dampfes, sondern von dem nach seiner Verdichtung auf den Kolben wirkenden Luftdruck her. War nämlich der Kolben gehoben und das Ventil d geschlossen, so wurde der Dampf dadurch kondensiert, dafs man Kühlwasser auf den Kolben gofs. Alsbald zeigte es sich, dafs Maschinen mit geringen Undichtigkeiten, bei denen das Kühlwasser unter den Kolben und dadurch mit dem Dampf in unmittelbare Berührung trat, weit schneller arbeiteten. Diese Beobachtung führte dann dazu, dafs man das Wasser absichtlich direkt in den mit Dampf gefüllten Raum einspritzte, ein Geschäft, welches zunächst einen besonderen Wärter erforderte, bis ein Knabe[1]) auf den Gedanken kam, die Hähne mit dem Balancier in Verbindung zu setzen, durch dessen Spiel sie fortan geöffnet und geschlossen wurden.

In dieser, ihr von Newcomen gegebenen Gestalt leistete die Dampfmaschine den Kohlengruben Englands bis über die Mitte des 18. Jahrhunderts getreulich Dienste, ohne das Interesse der Gelehrten sonderlich zu erregen. Da erhielt der junge Mechaniker James Watt[2]), den die Universität Glasgow mit der Instandhaltung ihrer Apparate betraut hatte, den Auftrag, das Modell der Newcomenschen Maschine zu reparieren. Der kleine Apparat fesselte das Interesse Watts in solchem Grade, dafs dieser sein Leben der Vervollkommnung der Dampfmaschine widmete. Als den gröfsten Mangel erkannte er den Umstand, dafs die Wände des Cylinders durch das eingeführte Wasser immer wieder abgekühlt wurden und nach jedem Hube durch den einströmenden Dampf von neuem erwärmt werden mufsten. Diesen Übelstand beseitigte Watt dadurch, dafs er den Dampf aufserhalb des Cylinders in einem besonderen Kondensator verdichtete, sodafs der Cylinder, welcher aufserdem mit schlechten Wärmeleitern umgeben wurde, die Temperatur des Dampfes beibehielt. Durch diese Verbesserungen, welche Watt im Jahre 1765 anbrachte, wurde eine beträchtliche Ersparnis an Brennmaterial erzielt. Einige Jahre später erfolgte dann die grundsätzliche Änderung der Maschine[3]), indem Watt hoch gespannten Dampf abwechselnd von beiden Seiten auf den Kolben wirken und so aus der atmosphärischen die eigent-

[1]) Humphry Potter.
[2]) Geboren am 19. Januar 1736 zu Greenock.
[3]) Das Patent datiert vom 5. Januar 1769.

liche Dampfmaschine entstehen liefs. Weitere Verbesserungen betrafen die Anwendung von Öl und Wachs als Mittel zum Abdichten der Maschinenteile, sowie die schon erwähnte Regulierung[1]) vermittelst des Centrifugalpendels. Ein weites Feld für neue Anwendungen eröffnete sich, nachdem es Watt gelungen war, die geradlinige Bewegung der Kolbenstange in eine drehende umzusetzen. Nun erst konnte an eine Übertragung der Kraft auf gröfsere Entfernungen, sowie an eine Fortbewegung von Schiffen und Wagen vermittelst der Dampfmaschine gedacht werden. Letztere wurde alsbald eins der wichtigsten Mittel zur Belebung des Gewerbfleifses und damit zur Förderung der gesamten Kultur.

Noch bevor James Watt am 19. August des Jahres 1819 die Augen schlofs, hatte Fultons Dampfschiff die Fluten des Hudson durchfurcht[2]) und Stephenson seine erste Lokomotive laufen lassen. Letzteres geschah am 25. Juli 1814. Diese Lokomotive lief auf einer Kohlenbahn und zog 8 Wagen von 30000 kg Gewicht bei einer Steigung von 1 : 450. Die Geschwindigkeit betrug 6,4 km in der Stunde[3]). Schon 6 Jahre früher hatte ein anderer Engländer seinen Landsleuten eine kleine Lokomotive vorgeführt, welche bei einem Druck von nahezu 3 Atmosphären 24 km in der Stunde zurücklegte und den Namen „Catch me, who can!" erhielt[4]). Trotzdem wurde erst im Jahre 1830 die erste allgemeinen Zwecken dienende Eisenbahnlinie Liverpool-Manchester von Stephenson fertig gestellt. Der aufserordentliche Aufschwung, den Gewerbe, Handel und Verkehr durch Männer erfuhren, welche gleich Watt und Stephenson die Grundlagen einer auf den Prinzipien der Physik beruhenden Technik schufen, kam mittelbar in stetig wachsendem Mafse der Wissenschaft wieder zu Gute.

Dem Andenken Watts wurde in der Westminsterabtei ein Denkmal mit folgender Inschrift errichtet:

Nicht um einen Namen zu verewigen,
Welcher dauern wird, so lange die Künste des Friedens blühen,
Sondern, um zu zeigen,
Dafs die Menschheit denjenigen Ehre zollt,
Welchen sie Dank schuldet,
Haben der König, seine Diener, sowie zahlreiche Edle

1) Siehe Seite 207 ds. Bds.
2) Im Jahre 1807.
3) Engineering 1894, I, Seite 644.
4) Berndt, Die Entwicklung der Lokomotive. Darmstadt 1896.

Und Bürger des Königreichs
James Watt dieses Denkmal errichtet.
Dem Genie dieses Mannes gelang es,
Auf dem Wege des Versuches
Die Dampfmaschine zu verbessern.
Er hob dadurch den Reichtum seines Vaterlandes,
Vergröfserte die Macht der Menschen
Und stieg zu hohem Range
Unter den grofsen Förderern der Wissenschaft,
Den wahren Wohlthätern der Menschheit.

Gleich der Dampfmaschine empfing im Laufe des 18. Jahrhunderts ein zweites aus dem Studium der Wärmeerscheinungen hervorgegangenes Werkzeug seine endgültige Gestalt. Es ist dies das Thermometer. Wir haben die Verdienste Galileis und der Accademia del Cimento um die Erfindung dieses Instrumentes kennen gelernt [1]). Von der Vervollkommnung desselben hingen die Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmelehre in erster Linie ab, ja das Streben nach einer solchen Vervollkommnung allein hat eine ganze Anzahl von wichtigen Entdeckungen zur Folge gehabt. Die Mitglieder der Accademia del Cimento hatten sich bei ihren Untersuchungen zwar schon wirklicher auf der Ausdehnung von Weingeist beruhender Thermometer, indes noch einer willkürlichen Skala bedient. Durch Huygens und darauf durch Renaldini (1694) erfolgte der Vorschlag den Gefrier- und den Siedepunkt des Wassers als Fixpunkte zu benutzen. Es handelte sich nun darum, zunächst den Gang der Ausdehnung von Weingeist, Quecksilber und anderen Flüssigkeiten näher zu untersuchen, eine Aufgabe, mit welcher sich vor allem Halley [2]) befafst hat. Ferner galt es, die Beständigkeit der gewählten Punkte zu prüfen und dadurch ihre Annahme als Fixpunkte zu rechtfertigen. Eine nach dieser Richtung unternommene Arbeit führte Fahrenheit im Jahre 1724 zu der Erkenntnis, dafs der Siedepunkt des Wassers von dem Druck der Atmosphäre abhängt, seine Bestimmung also bei einem vereinbarten Drucke zu erfolgen hat. Auch die unter dem Namen der Überkaltung bekannte Erscheinung, dafs in völliger Ruhe befindliches Wasser weit unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden kann, ohne zu erstarren, entdeckte Fahrenheit gelegentlich seiner

---

[1]) Siehe Seite 135 ds. Bds.

[2]) Halley, An account of several experiments made to examine the nature of the expansion and contraction of fluids, by heat and cold, in order to ascertain the divisions of the thermometer (Philos. Transact. 1693).

thermometrischen Untersuchungen[1]). Fahrenheit selbst hat den Siedepunkt nicht als Fixpunkt gewählt, er brachte seine Thermometer zunächst in eine aus Eis und Salmiak bestehende Kältemischung und dann in schmelzendes Eis. Den so erhaltenen Fundamentalabstand teilte er in 32 Grade und setzte diese Teilung über den oberen Fixpunkt hinaus bis zu 600 fort, der Temperatur, bei welcher das Quecksilber zu sieden begann. Einen beständigen Wärmegrad schrieb er auch dem Blute des gesunden Menschen zu (96° seiner Skala). Die Anfertigung von Thermometern betrieb Fahrenheit, ein Danziger Kaufmann, der sein Vermögen eingebüfst hatte, gewerbsmäfsig. Er war der erste, dem es trotz aller Unvollkommenheiten der Methode gelang, seinen Instrumenten einen hinlänglich übereinstimmenden Gang zu geben. Aus unserer Darstellung geht auch hervor, dafs er keineswegs, wie irrtümlich oft gelehrt wird, den Abstand zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt in 180 Grade eingeteilt hat. Dafs dieser Abstand einer runden Zahl entsprach, war vielmehr nur ein Zufall[2]).

Die von Réaumur und Celsius um die Ermittlung des zweiten Fixpunktes angestellten Bemühungen hat der Leser aus der im I. Bande wiedergegebenen Abhandlung des letzteren der beiden Forscher kennen gelernt[3]). Während Réaumur dem Weingeist den Vorzug gab und die Temperaturgrade ausgehend von dem Gefrierpunkt des Wassers der Volumzunahme seiner Thermometerflüssigkeit proportional setzte, bediente sich Fahrenheit bei seinen späteren Versuchen, sowie auch Celsius, des Quecksilbers, welches höhere Temperaturen zu messen gestattet. Auch das Luftthermometer und das Pyrometer sind Erfindungen dieser Periode, sodafs die Methoden der Messung des Wärmezustandes zu einem gewissen Abschlufs gebracht wurden.

Der Wärme selbst schrieb man im 18. Jahrhundert gleich dem Lichte stoffliche Natur zu, eine Auffassung, welche durch die Untersuchungen Wilkes[4]) eine Stütze zu erhalten schien. Dieser Forscher[5]) hatte nämlich entdeckt, dafs beim Schmelzen des Eises

---

[1]) Siehe Fahrenheits Abhandlungen über Thermometrie (Ostwalds Klassiker, Nr. 57).

[2]) Siehe auch Ostwalds Klassiker Nr. 57 (Abhandlungen über Thermometrie), Seite 126.

[3]) Siehe Bd. I, Seite 114.

[4]) 1732—1796; geboren zu Wismar.

[5]) Sowie der Engländer Black. Siehe Bd. I ds. Grdr., Seite 185.

eine bestimmte Menge Wärme für das Gefühl verloren geht und sich scheinbar mit dem Eise bei seinem Übergang in Wasser verbindet. So gelangte man dazu, von gebundener (latenter) und freier Wärme zu reden, Namen, welche zur Erhaltung der irrtümlichen Idee von der Natur der Wärme jedenfalls mitgewirkt haben und dem Emporkommen neuer richtiger Anschauungen, die uns im Beginn der nächsten Periode begegnen, hinderlich gewesen sind. Die erste Erschütterung erfuhr die Stofftheorie indes schon in der Mitte des 18. Jahrhunderts. Alle Bemühungen nämlich, das Gewicht des zugeführten hypothetischen Wärmestoffes festzustellen, erwiesen sich als erfolglos[1]), wie es auch bezüglich des elektrischen Fluidums der Fall gewesen war. Es gab sogar Physiker, denen die Annahme eines einzigen Stoffes zur Erklärung der Wärmeerscheinungen nicht genügte. Wie man zwei entgegengesetzte elektrische Fluida annahm, so sollte neben der Wärme noch ein besonderer Kältestoff existieren, der z. B. in den zur Herstellung von Kältemischungen dienenden Salzen vorhanden sei. Dieser Auffassung trat besonders Mariotte[2]) entgegen. Er liefs die Kälte nur als ein Mindermafs an Wärme gelten und unterschied durch klare Darlegung und Versuche die strahlende von der Körperwärme. Dafs die erstere die Luft und manche anderen Substanzen durchdringt, ohne ihre Temperatur wesentlich zu erhöhen, wies er dadurch nach, dafs er Schiefspulver mittelst einer aus Eis bestehenden Linse entzündete Auch gelangte man schon damals zu der Erkenntnis, dafs die Wärmestrahlen wie das Licht sich mit grofser Geschwindigkeit ausbreiten. Ein französischer Gelehrter[3]) brachte in den Brennpunkt eines Hohlspiegels eine erhitzte, indes nicht leuchtende Metallkugel, während sich in dem Brennpunkt eines gegenüber befindlichen zweiten Hohlspiegels ein empfindliches Luftthermometer befand. Zwischen beiden Spiegeln, deren Abstand 25 m betrug, war ein Schirm aufgestellt. Entfernte man diesen, so begann die Absperrflüssigkeit des Thermometers in demselben Augenblick zu steigen. Es begegnet uns schon hier ein Experiment, das mit geringen Modifikationen (Schiefsbaumwolle an Stelle des Luftthermometers) noch heute zu den beliebtesten Vorlesungsversuchen zählt. Aus der Thatsache, dafs die Luft für Wärmestrahlen sehr durchlässig ist, läfst sich auch

---

[1]) J. C. Fischer, Geschichte der Physik (1801—1808) V, 4.
[2]) Mariotte, Essai du chaud. 1740.
[3]) Pictet.

leicht die auf hohen Bergen wahrzunehmende geringe Temperatur erklären[1]).

Die hier skizzierten Fortschritte auf dem Gebiet der Wärmelehre hatten zur Folge, dafs man sich dem chemischen Prozefs als einer der Hauptquellen der Wärme mit verdoppeltem Interesse zuwandte, sowie den Einflufs der Wärme auf den Verlauf der chemischen Reaktionen in Betracht zog. Damit wuchs zugleich die Einsicht in das Wesen und den Ursprung der animalischen Wärme. Letztere hatte man bisher wohl aus der Reibung des in den Gefäfsen cirkulierenden Blutes zu erklären gesucht, während man die Atmung in völliger Verkennung des thatsächlichen Vorganges als ein Mittel zur Abkühlung des Blutes betrachtete. Stahl, der Begründer der Phlogistontheorie, und Hales, dessen grofse Verdienste um die Physiologie wir bald kennen lernen werden, erklärten jetzt die tierische Wärme als eine Folge der Atmung, während ihrer Meinung nach der Cirkulation des Blutes die Aufgabe zufiel, die in den Lungen erzeugte Wärme dem übrigen Körper mitzuteilen. Der Atmungsprozefs wurde so zum erstenmale mit der Verbrennung in Parallele gestellt, wenn es auch dem Zeitalter Lavoisiers vorbehalten blieb, das wahre Wesen beider Vorgänge zu erfassen. Auch im übrigen stehen die Leistungen der Chemie seit der Mitte des 18. Jahrhundert mit der grofsen That Lavoisiers in solch inniger Verknüpfung, dafs wir es vorziehen, beide im Zusammenhange zu betrachten.

Wesentlich bedingt durch die Fortschritte der Physik und der Chemie entwickelten sich im 18. Jahrhundert die Mineralogie und die Geologie auf der in der vorhergehenden Epoche insbesondere durch Steno geschaffenen Grundlage weiter. Die Mineralien werden als Verbindungen erkannt und auch schon nach chemischen Gesichtspunkten in Brennstoffe, Metalle, Salze, Erden u. s. w. eingeteilt. Die Mineralanalyse erblickt nach dem Vorgange des schwedischen Naturforschers Bergmann ihre Aufgabe in der Abscheidung der Mineralbestandteile in Form von Verbindungen, welche der Zusammensetzung nach genau bekannt sind, da eine Isolierung dieser Bestandteile in der Regel schwierig ist. Aus dem Bedürfnisse, die Mineralien auch ohne eingehendere Analyse zu erkennen, entspringt die Kennzeichenlehre, welche insbesondere auf der Verwendung des 1758 von Cronstedt eingeführten Lötrohrs

[1]) Hierauf wurde von Black hingewiesen. Siehe auch E. Mach, „Einfache Versuche über strahlende Wärme" (Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. VII, 3).



beruht. Borax, Phosphorsalz und andere noch heute zur raschen Bestimmung gebräuchlichen Hülfsmittel kommen in Aufnahme. Auch die Farbe und die Spaltbarkeit werden als wichtige Kennzeichen verwertet. Ebenso wird das spezifische Gewicht berücksichtigt, doch begnügt man sich zunächst mit dem bloſsen Abtaxieren desselben. Eine gröſsere Beachtung fand diese physikalische Konstante erst, nachdem der Physik in Nicholsons Senkwage ein bequemes Mittel zur raschen Bestimmung des spezifischen Gewichtes an die Hand gegeben hatte. Seitdem Steno auf die Konstanz der Winkel hingewiesen, wandte man sich auch mit wachsendem Interesse dem an den Mineralien in die Erscheinung tretenden Formenreichtum zu. Dem französischen Forscher de l'Isle[1]) gelang es, die von Steno nur für einige Fälle nachgewiesene Regel in ihrer vollen Allgemeingültigkeit zu erkennen. Als Meſsinstrument bediente er sich hierbei des von seinem Gehülfen[3]) erfundenen Anlegegoniometers (siehe Fig. 57).

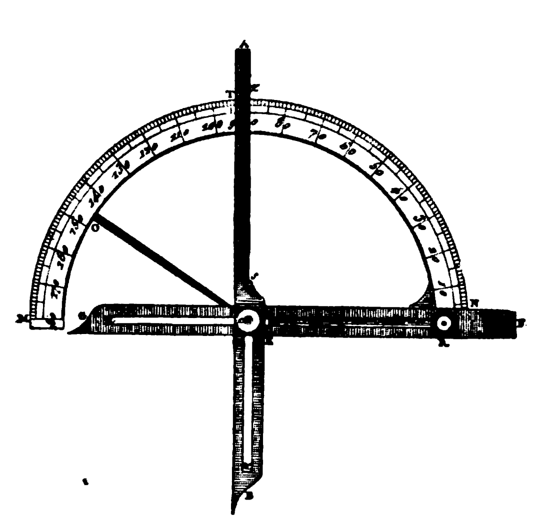


Fig. 57. Das von Romé de l'Isle gebrauchte Anlegegoniometer[2]).
GF und AB sind zwei Lineale, deren Abschnitte GC und BC je nach der Gröſse des zu messenden Objektes verlängert oder verkürzt werden können. MTN trägt den Gradbogen, AB wird um C gedreht. OC dient zur Stütze des Gradbogens.

Während man anfangs alle leblosen Körper, welche der Schoſs der Erde birgt, unter dem Namen Fossilien vereinigte, gelangte man im Laufe des 18. Jahrhunderts dazu, die Versteinerungen und die Felsarten von den eigentlichen, dem Auge gleichartig erscheinenden Mineralien zu trennen. Von jetzt an treten die

---

[1]) Romé de l'Isle, 1736–1790. Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral. Paris, 1783.

[2]) Hauy, Traité de Minéralogie. 1801. Bd. V, P. VIII, Fig. 77.

[3]) Namens Carangeot.

Versteinerungslehre und die Geognosie der Mineralogie als selbstständige Wissenszweige zur Seite. Mit grofsem Eifer wendet man sich in allen Kulturländern diesen neu erschlossenen Forschungsgebieten zu und begiebt sich an das gründliche Studium von Naturkörpern, denen man bisher neben der Tier- und Pflanzenwelt kaum Beachtung gezollt hatte. An den Universitäten werden neue Lehrstühle errichtet; gleich den Botanikern und den Zoologen unternehmen jetzt auch Geologen Reisen zur Erforschung fremder Länder. Besondere Schulen werden gegründet; so verdanken die Bergakademie in Freiberg und die École des mines zu Paris ihren Ursprung der geschilderten Bewegung. Die erstere der genannten Anstalten gelangte rasch zu europäischer Berühmtheit durch die Thätigkeit eines Mannes, mit dem wir uns zunächst befassen müssen. Es ist dies der um die Kennzeichenlehre und die Geognosie verdiente Deutsche Werner.

Abraham Gottlob Werner wurde am 25. September 1750 in einem kleinen Orte der Oberlausitz geboren. Sein Vater verwaltete ein Eisenhüttenwerk und besafs eine Mineraliensammlung, welche das Interesse des Knaben in hohem Grade fesselte. Seit dem Jahre 1775 bekleidete Werner ein Lehramt an der Bergakademie zu Freiberg[1]). Auf dem Gebiete der von ihm vertretenen Disziplinen nahm er bald eine ähnliche Stellung ein, wie sie um dieselbe Zeit Linné in der Reihe der Botaniker und Zoologen besafs. Beide Männer wirkten vorzugsweise als Lehrer und Systematiker. Sie verstanden es, für ihre Wissenschaft zu begeistern und derselben eine Schar von Anhängern zuzuführen, während ihre durch eigenes Forschen aufgefundenen Resultate sich in bescheideneren Grenzen hielten. Bei Werner wie bei Linné entwickelte sich ferner eine gewisse Einseitigkeit, wodurch die weitere Gestaltung der Wissenschaft infolge der aufserordentlichen Autorität, welche beide Männer genossen, mitunter ungünstig beeinflufst wurde.

Bevor Werner sein System der Geognosie aufstellte, wurden die Grundlagen für dasselbe durch den schon genannten Bergmann und durch Füchsel geschaffen. Bergmann war der erste, welcher das Urgebirge (Granit, Gneifs etc.) von dem Flözgebirge unterschied. Ersteres wurde von ihm als ein chemischer und daher krystallinischer Niederschlag angesehen, während das Flöz-

[1]) Ein Jahr vorher war sein Erstlingswerk „Von den äufserlichen Kennzeichen der Fossilien“ erschienen.



gebirge sich aus den Trümmern des Urgebirges durch mechanischen Absatz gebildet haben sollte, eine Idee, welche **Werner** aufnahm, um sie zu einem bleibenden Besitz der geologischen Wissenschaft zu machen.

Von dem zweiten Vorläufer **Werners**, dem Deutschen **Füchsel**, rührt die erste scharf ausgeprägte Terminologie her. Von besonderer Wichtigkeit ist die durch ihn erfolgte Aufstellung des Begriffs der Formation. „Jeder einzelne Niederschlag", sagt **Füchsel**[1], „bildet eine Erdschicht oder Bank, aber es giebt gewisse Folgen von Schichten, welche unter gleichen Verhältnissen unmittelbar nacheinander gebildet wurden; solche Reihen bilden zusammen das, was wir eine Formation nennen, und eine solche Formation bezeichnet eine Epoche in der Geschichte der Erde." Die einzelnen Formationen charakterisierte **Füchsel** durch das Vorhandensein von eigentümlichen Versteinerungen oder Leitfossilien.

Die gleichen Bestrebungen begegnen uns in Frankreich. Dort untersuchte man besonders das Pariser Becken und gelangte zu dem Schlusse, dafs dieses einst von Wasser bedeckt gewesen und durch die im Lauf der Zeit zu festem Gestein gewordenen Sedimente einmündender Flüsse ausgefüllt worden sei. Die Berge der Auvergne, wie der Puy de Dôme und der Mont d'or, wurden als erloschene Vulkane erkannt, deren Lavaströme und Bimssteinmassen man noch aufzudecken vermochte. Im Jahre 1746 erschien in Frankreich eine geognostische Karte[2]), welche nicht nur den Aufbau dieses Landes, sondern auch denjenigen Englands und Deutschlands zur Darstellung brachte.

In dem Mafse, wie die Kenntnis der Gesteins- oder Gebirgsarten wuchs, nahm die bei ihrer Gruppierung und Benennung einreifsende Verwirrung zu. Diesem Zustande machte **Werners** erstes systematisches Lehrbuch der Geognosie ein Ende. Dasselbe erschien im Jahre 1787 und führt den Titel: Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten. Obgleich durch Kombination der Mineralien, von denen schon **Werner** über 200 kannte, sich eine unbegrenzte Zahl von Mischungen ergeben würde, fand er, dafs die Verschiedenheit der Gebirgsarten durchaus nicht ins Unendliche geht und die meisten sehr ausgezeichnet und leicht bestimmbar sind. „Es ist wahrscheinlich", sagt **Werner**, dafs wir den gröfsten Teil schon kennen, da die Gebirgsarten der

---

[1]) Nach **Hoffmanns** Geschichte der Geognosie. Berlin 1838. Seite 56.
[2]) Herrührend von **Guettard** (1715—1786).



entferntesten Länder insgemein mit den uns bekannten übereinkommen[1])." Sämtliche Arten werden sodann in vier Gruppen eingeteilt, welche er als die uranfänglichen, die Flözgebirge, die vulkanischen und die aufgeschwemmten Gebirgsarten unterscheidet.

Zu der ersten Gruppe werden Granit, Gneifs und Glimmerschiefer, irrtümlicherweise aber auch Porphyr und Basalt gerechnet, für welche später als echt vulkanisch erkannten Bildungen Werner die Entstehung auf nassem Wege in Anspruch nahm. Uranfänglich nennt Werner diese Gesteine, weil sie gleichsam den Kern der Gebirge vorstellen und sich in das Innere der Erde erstrecken. Auch den Mangel an Versteinerungen nahm er als charakteristisch für diese Bildungen in Anspruch.

Als Flözgebirge bezeichnet Werner Kalkstein, Sandstein, Grauwacke, Steinkohle, Steinsalz und Gyps. Es ist ihm sogar wahrscheinlich, dafs sie aus Gliedern der ersten Gruppe hervorgegangen sind. Charakteristisch ist ihm für das Flözgebirge das Vorhandensein von Versteinerungen, sowie die Erscheinung, dafs diese Gesteine meist innerhalb desselben Gebirgsstockes in Lagen miteinander wechseln, während ein uranfängliches Gestein an dem Aufbau eines Gebirges in der Regel ausschliefslich oder auf weite Erstreckung beteiligt ist.

Die Anschauungen, welche Werner über die Natur und den Ursprung der vulkanischen Gesteine entwickelte, haben dem Fortschritt der geologischen Wissenschaft gegenüber keinen Stand halten können. Nach einem hartnäckigen Kampfe ist Werners neptunistisches System, das nur die Erzeugnisse thätiger Vulkane als eruptiv gelten lassen wollte, schliefslich unterlegen.

Die Verwitterungsprodukte der genannten Gesteine endlich bezeichnet Werner als aufgeschwemmtes Gebirge, das entweder als Seifen aus Kiesel und Sand die Thäler füllt oder die alles bedeckende Schicht des niedrigen Landes bildet.

Sollte das Studium der Gebirgsglieder Licht über die Entwicklungsgeschichte der Erde verbreiten, so mufste die Aufmerksamkeit sich in steigendem Mafse den Einschlüssen der Gesteine, den Versteinerungen, zuwenden. Die alte verbreitete Meinung, man habe es in diesen Körpern mit Naturspielen oder mit den Überresten der Sündflut zu thun, wich allmählich der Erkenntnis, dafs die Fossilien Zeugnis von der Existenz vergangener Tier- und Pflanzenschöpfungen ablegen. So entstand die Paläontologie, welche

---

1) Werner, a. a. O. Einleitung.



vereint mit der gleichfalls im 18. Jahrhundert sich entwickelnden Geognosie die Grundlage für die geologische Wissenschaft des 19. Jahrhunderts bilden sollte. Durch die Höhlenforschung lernte man die Knochen zahlreicher ausgestorbener Säugetiere kennen. Seit dem Jahre 1725 datiert die Bekanntschaft der Paläontologen mit dem Skelett des Mammut, welches Geschöpf Pallas später vollständig erhalten im Eise Sibiriens auffand[1]). Durch die Untersuchung des Pariser Gypses wurde man auch mit fossilen Vögeln bekannt. Die versteinerten Echinodermen und Mollusken werden eingehend bearbeitet. Es entstehen Schriften über die fossilen Pflanzen[2]), und im Jahre 1755 erscheint in Deutschland ein gröfseres systematisches Werk paläontologischen Inhalts, das sich den grofsen naturhistorischen Werken der Botaniker und Zoologen dieses, sowie des verflossenen Zeitraums als ebenbürtig zur Seite stellen kann[3]).

Die auf ältester Grundlage beruhenden Wissenschaften, welche von den Lebewesen handeln, blieben den soeben erwähnten, neu entstandenen Zweigen gegenüber während des auf dem Gebiete des Systematisierens so eifrigen 18. Jahrhunderts nicht zurück. Ihre Hauptaufgabe erblickten die Zoologie und die Botanik indes immer noch in einer auf das Äufsere gerichteten Beschreibung und in der Anordnung der Tiere und Pflanzen, wenn sich auch die Ansätze zur Untersuchung des inneren Baues und der Verrichtungen der Organe stetig mehrten. Durch das genauere Studium der Flora und der Fauna Europas, sowie der übrigen Weltteile, war das Material, welches der Systematik zu Gebote stand, schon zu Beginn des 18. Jahrhunderts ein kaum noch zu bewältigendes geworden. Die Bearbeitung dieses Materials wurde immer schwieriger, weil eine klare, auf scharfe Gliederung beruhende Nomenklatur noch nicht geschaffen war und die bisherigen Versuche zur Aufstellung eines umfassenden Systems sich stets als unzureichend erwiesen hatten. Der Mann, welcher zur rechten Zeit erschien und nach den beiden angegebenen Richtungen Abhülfe schuf, war der schwedische Naturforscher Linné, mit dessen Lebensgang und Leistungen wir uns jetzt zu befassen haben.

Karl von Linné wurde am 2. (13.) Mai des Jahres 1707 in dem Dorfe Råshult in Småland geboren. Sein Vater war dort

---

1) Siehe Bd. I, Seite 256.

2) Scheuchzer, Herbarium diluvianum. 1721.

3) Knorrs mit 300 vortrefflichen Kupfertafeln versehenes Werk vom Jahre 1755, welches unter dem Titel „Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur und Altertümer des Erdbodens“ zu Nürnberg erschien.

Pfarrer und besafs für Gartenbau und Pflanzenkunde grofse Liebhaberei, welche sich auf den Sohn übertrug. Als dieser in einem benachbarten Städtchen die Schule besuchte, trieb er sich, anstatt seinen nächstliegenden Pflichten nachzukommen, botanisierend umher, sodafs der Vater schliefslich erzürnte und ihn einem Schuhmacher in die Lehre gab. Ein befreundeter Arzt, der Linnés botanische Neigungen unterstützte, vermochte jedoch den Vater zu versöhnen. Linné erhielt die Erlaubnis, sich dem Studium der Medizin zu widmen und bezog die Universität Lund, welche er später mit Upsala vertauschte. Da Linné in ärmlichen Verhältnissen lebte, war er gezwungen, seinen Unterhalt durch Abschreiben und Erteilung von Privatstunden zu verdienen. In Upsala nahm sich schliefslich der Professor der Botanik Rudbeck seiner an. Er übertrug ihm die Aufsicht über den botanischen Garten, sowie die Stellvertretung bei seinen Vorlesungen. Im Jahre 1732 erhielt Linné den ehrenvollen Auftrag, Lappland, die nördlichste Provinz von Schweden, naturhistorisch zu durchforschen. Nachdem er von dieser während des Sommers 1732 unternommenen Expedition zurückgekehrt war, beabsichtigte er, in Upsala Vorlesungen über Botanik zu halten. Eifersüchtige Nebenbuhler wufsten indes sein Vorhaben durch den Einspruch, dafs er noch nicht promoviert habe, zu verhindern. Da es damals Brauch war, den Doktorhut im Auslande zu erwerben, ging Linné zu diesem Zwecke im Jahre 1735 nach Holland. Dort wurde er mit Clifford bekannt, welcher in Harlem einen Garten unterhielt und Linnés Rat und Hülfe in botanischen Dingen wohl zu schätzen wufste. In Holland gab Linné im Jahre 1735 neben einem gröfseren Werk über den Cliffordschen Garten eine kleine in Tabellenform verfafste Schrift heraus, welche er „Systema naturae" nannte. Dieses Büchlein, das die Früchte seiner bisherigen, sich über alle drei Naturreiche erstreckenden Bemühungen um die Systematik enthielt, wurde später wiederholt von neuem aufgelegt und wuchs dabei zu einem mehrbändigen Werke an[1]).

Nachdem Linné von Holland aus Reisen nach England und

[1]) Systema naturae. 1. Ausgabe von 1735 sehr selten und nur 14 Seiten umfassend. 12. Ausgabe von Müller. 8 Bde. 13. Ausgabe von Gmelin. 10 Bde. Leipzig 1788—1793. Die 13. Ausgabe ist das letzte Werk, welches alle bekannten Tier- und Pflanzenarten beschreibt. Leunis nennt es eine voluminöse Kompilation, nur wichtig als Verzeichnis dessen, was bis 1793 bekannt geworden. Ein Neudruck vom I. Bande (Tierreich) der 10. Ausgabe wurde von der Deutschen zoologischen Gesellschaft veranstaltet und erschien 1894 bei Wilhelm Engelmann in Leipzig.



Frankreich unternommen hatte — in Paris ernannte man ihn zum korrespondierenden Mitgliede der Akademie der Wissenschaften — kehrte er nach Stockholm zurück. Hier nahm man ihn mit grofsen Ehrenbezeugungen auf. Linné, der sich zunächst dem ärztlichen Beruf zuwandte, wurde Leibarzt des Königs und Präsident der Akademie der Wissenschaften. Im Jahre 1741 siedelte er nach dem nahen Upsala über. Während der beiden Dezennien, welche Linné dort als anregender Lehrer und unermüdlicher Forscher zubrachte, erlebte die Naturgeschichte ihre Glanzperiode. Der botanische Garten wurde in seinem Geiste reformiert und mit einem naturhistorischen Museum verbunden. Im Jahre 1746 gab Linné ein Werk über die Fauna Schwedens heraus, einige Jahre später erschien seine allgemeine Botanik[1]), das botanische Hauptwerk Linnés. 1762 wurde er auf Beschlufs des Reichstags in den Adelstand erhoben. Erst seit dieser Zeit nannte er sich von Linné, während sein Name ursprünglich Linnaeus lautete. Er starb am 10. Januar 1778.

Linnés Verdienst bestand nicht in epochemachenden Entdeckungen, welche späteren Generationen unmittelbar die Anregung zu weiterem Forschen gegeben hätten, sondern er erblickte seine Aufgabe ausschliefslich in der systematischen Bearbeitung des gesamten von seinen Vorgängern überkommenen naturhistorischen Wissens. Hierin hat er Bedeutendes geleistet und sich einer Mühe unterzogen, deren Bewältigung im Interesse des weiteren Fortschritts lag. Dafs seine Nachfolger das System überschätzten und die Einordnung der neu beschriebenen Formen in dasselbe für die hauptsächlichste Aufgabe der Wissenschaft hielten, darf man dem Begründer dieses Systems nicht zur Last legen.

In der Botanik brachte Linné die seit Caesalpin auf die Aufstellung eines künstlichen Systems gerichteten Bestrebungen zum Abschlufs. Die Kenntnis von der Sexualität der Pflanzen, auf welche seine Einteilung fufste[2]), verdankte er jedoch vor allem den Untersuchungen des Deutschen Camerarius[3]), wie auch seine Nomenklatur auf den Einflufs eines Deutschen zurückzuführen ist[4]). Linné selbst war dem physiologischen Experiment, sowie der Anwendung des Mikroskops wenig zugethan. Seine Art, etwas

[1]) Linné, Philosophia botanica.

[2]) Siehe Bd. I, Seite 116.

[3]) Siehe Seite 222 ds. Bds.

[4]) Jungius (1587—1657). Rektor des Hamburger Johanneums, in seiner Isagoge phytoscopia.

durch logisches Zergliedern klar zu stellen, ohne die Natur selbst hinreichend zu befragen, erinnert häufig an Aristoteles. Dafs sein Pflanzensystem in erster Linie auf die Erfüllung eines praktischen Bedürfnisses hinauslief und keine naturgemäfse Gruppierung ergab, wufste Linné sehr wohl, während es seine Nachbeter später gänzlich vergessen zu haben schienen und in dem von Linné geschaffenen System die Krönung des naturhistorischen Lehrgebäudes erblickten. Linné selbst hat ein Verzeichnis derjenigen Gruppen gegeben, die er als natürliche betrachtete. Der erste Versuch, ausgehend von der Erfassung solcher Gruppen zur systematischen Gliederung des gesamten Pflanzenreiches zu gelangen, ging von den Franzosen aus. Die schwedischen, deutschen und englischen Botaniker dagegen verfolgten die von Linné eingeschlagene Richtung bis zur Einseitigkeit und suchten ihren Ruhm einzig in der Kenntnis einer möglichst grofsen Zahl von Arten. Erst mit der Aufstellung des natürlichen Systems durch die beiden Jussieu und Decandolle wurde die Grundlage für den weiteren Fortschritt geschaffen.

Wie auf dem botanischen, so war auch auf zoologischem Gebiete Linnés Wirken fast ausschliefslich nach der deskriptiven und systematischen Seite hin gerichtet. Sein Tiersystem entsprach indes weit mehr der natürlichen Verwandtschaft als dies hinsichtlich seiner Gruppierung der Pflanzen der Fall war. Die Einteilung der niederen Tiere, deren innerer Bau erst in der nächsten Periode eingehender studiert wurde, fufste jedoch noch auf ganz oberflächlichen Ähnlichkeiten. Das gesamte Tierreich zerfiel nach Linné in 6 Klassen, von denen nur diejenigen der Säugetiere und der Vögel ihren Wert und Umfang auch heute noch besitzen. Die Amphibien wurden noch mit den Reptilien zu einer Gruppe vereinigt. Die vierte Klasse umfafste die Fische. Die Insekten bildeten die fünfte Klasse und zerfielen in die noch heute geltenden Ordnungen, während die letzte Klasse der Würmer alles das umfafste, was Linné nicht zu klassifizieren vermochte. Hier finden wir z. B. die Weichtiere mit den Aufgufstierchen und die Eingeweidewürmer mit den Pflanzentieren vereinigt. Über die animalische Natur der letzteren[1]) ist Linné noch nicht völlig im Klaren. Er bezeichnet sie als Pflanzen mit tierisch belebten Blüten.

Mancher Widerspruch erhob sich gegen seinen Schritt, den Menschen als besondere Gattung an die Spitze des Systems

---

1) Siehe Seite 281 ds. Bds.

zu stellen und mit ihm körperlich nahe stehenden Tieren zur Ordnung der Primaten zu vereinen. Man mufs jedoch anerkennen, dafs dieser Schritt die Naturgeschichte des Menschen als besondere Disziplin angebahnt hat, sodafs Blumenbach, als er die neuere Anthropologie begründete, nur der Auffassung Linnés zu folgen brauchte.

Von besonderer Wichtigkeit für die Systematik war die von Linné herrührende konsequente Durchführung der binären Nomenklatur. Anstatt weitschweifiger Definitionen, welche man bis dahin neu entdeckten Formen beilegte, erhielt jede Spezies zwei der lateinischen Sprache entnommene Namen, von denen der erste die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gattung, der zweite dagegen, meist in Form eines Adjektivs hinzutretend, die Art bezeichnete. Letztere erschien Linné als der durchaus unveränderliche Ausgangspunkt seines Systems. „Tot numeramus species, quot creavit ab initio infinitum ens“ lautet sein bekannter Ausspruch, „wir zählen soviel Arten, wie Gott im Anbeginn erschaffen hat“. Diese Ansicht, welche die Beziehungen der Lebewesen völlig unerklärt läfst und die Worte Verwandtschaft und Zusammengehörigkeit nur im bildlichen Sinne anzuwenden gestattet, erstarkte in der Folge zu einem Dogma, das nicht nur die Lehre von den heute lebenden Formen, sondern auch die Paläontologie bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts vollständig beherrschte und erst in der zweiten Hälfte desselben zu Fall gebracht wurde[1]).

Linnés Bemühen, alles zu systematisieren, erstreckte sich auch auf das Mineralreich. Da er jedoch auch hier in erster Linie die äufsere Beschaffenheit ins Auge fafste — er suchte die Mineralien nach ihrer Gestalt zu ordnen — so war der Erfolg nur gering. Eigentümliche Ansichten, die sich später als zum Teil begründet erwiesen, entwickelte Linné in seiner Abhandlung über das Anwachsen der Erde[2]). Danach bildeten sich die Schichten nicht aus zerriebenem Urgestein, sondern sind Erzeugnisse der Lebewelt. Das Kalkgebirge ist nach Linné aus Muscheln und Korallen entstanden, während die Pflanzen thonige Ablagerungen, die später zu Schiefer erstarrten, gebildet haben sollen.

Wenn auch auf dem Gebiete der Botanik während des 18. Jahrhunderts die systematische Richtung überwog, so fällt doch in diesen Zeitraum die Begründung einiger wichtigen Zweige der

1) Siehe Lamarck, Lyell und Darwin.

2) Oratio de telluris habitabilis incremento.

Pflanzenphysiologie, um deren weiteren Ausbau man sich dann allerdings zunächst so wenig kümmerte, wie um die Fortsetzung der pflanzenanatomischen Arbeiten eine Grew und Malpighi. Es sind dies die Arbeiten von Hales über die Saftbewegung und die Aufdeckung der Beziehungen zwischen Blumen und Insekten durch Konrad Sprengel, dessen Forschungen sogar erst in der neuesten Zeit, seit Darwin demselben Gegenstande seine Aufmerksamkeit zuwandte, zur vollen Würdigung gelangt sind.

Stephan Hales wurde am 17. September 1677 in der Nähe von Kent geboren und studierte in Cambridge Theologie. Gleichzeitig betrieb er mit grofser Vorliebe Mathematik und Naturwissenschaften. Die freie Zeit, welche ihm sein Pfarramt übrig liefs, verwandte er auf die Verwirklichung eines hohen Zieles, der Ausdehnung der mechanischen Forschungs- und Betrachtungsweise nämlich auf das Gebiet der Lebensvorgänge. Im Jahre 1718 erwarb Hales die Mitgliedschaft der Royal Society; er starb am 4. Januar 1761.

In seinem Hauptwerke, der Statik der Gewächse, mit dem der Leser bereits durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden ist[1]), versuchte Hales, auf Grund der bis dahin gewonnenen physikalischen und chemischen Kenntnisse, durch das Experiment eine Einsicht in den Lebensprozefs der Pflanze zu gewinnen. Harveys Entdeckung des Blutkreislaufs hatte die Frage angeregt, ob im Pflanzenkörper ein entsprechender Vorgang stattfinde. Diese Frage ist es, welche Hales in erster Linie zu entscheiden sucht und auf welche sich auch die im I. Bande mitgeteilten Experimente beziehen. Wie in der Physiologie des Tieres die Flüssigkeiten, die Geschwindigkeit derselben, die Kräfte, welche auf sie wirken, sowie das Quantum trockner und flüssiger Nahrung, das der Organismus zu seinem Unterhalt bedarf, die gröfste Rolle spielen, so erhält auch, wie Hales des näheren ausführt, die Mechanik das Leben der Pflanzen und bringt deren Wachstum zuwege. Die Ähnlichkeit zwischen Pflanzen und Tiere sei so grofs, dafs, wenn man beide nach gleicher Methode untersuche, wichtige Entdeckungen zu erhoffen seien.

Das Verfahren, welches Hales empfiehlt und zum erstenmale auf das Studium der Pflanzen anwendet, besteht im Zählen, Messen und Wägen. Der Einflufs der Physik war es, der sich auf immer weitere Gebiete zu erstrecken begann. „Durch Zählen und Messen"

1) Siehe Bd. I ds. Grdr., Seite 108.



sagt Hales in seiner Einleitung[1]) „hat der grofse Newton die Regeln, nach denen die Gestirne ihren Umlauf nehmen, zu bestimmen vermocht. Der allweise Schöpfer hat sich nämlich eine Richtschnur gesetzt, alles nach Zahl, Mafs und Gewicht zu erschaffen. Damit nun auch wir seine Werke ergründen können, kommt es auf Zählen, Messen und Wägen an. Man geht dadurch den vernünftigsten und sichersten Weg. Und der so ungemein grofse Erfolg, wodurch dieses Verfahren sich Ruhm erworben hat, mufs uns anreizen, es solchergestalt anzufangen.“

Die ersten Untersuchungen, denen wir uns jetzt zuwenden, um zu sehen, wie Hales das ausführt, was er verspricht, beschäftigen sich mit der Feststellung des Flüssigkeitsquantums, das von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommen und durch die Blätter wieder abgedunstet wird. Eine $3^1/_2$ Fufs hohe Sonnenblume wird in einen Topf gepflanzt, welcher durch eine Bleiplatte nach Möglichkeit gegen Verdunstung geschützt ist. Durch diese Platte führt ein Rohr, das zum Nachfüllen von Wasser dient. Der infolge der Transpiration eintretende Gewichtsverlust betrug für die zwölf Stunden von Morgens bis Abends an heifsen Tagen 1 Pfund 14 Unzen, während der Verlust desselben Topfes, nachdem die Pflanze abgeschnitten und der Stumpf verklebt war, unter im übrigen gleichen Verhältnissen nur zwei Unzen[2]) betrug. In einer warmen, trockenen Nacht betrug die Ausdünstung der Sonnenblume drei Unzen; wenn Tau auftrat, unterblieb sie ganz.

Hales stellte sich nun die Aufgabe, die gesamte oberhalb und unterhalb des Bodens befindliche Fläche der Sonnenblume zu messen. Zunächst wurden sämtliche Blätter abgeschnitten und der Gröfse nach in fünf Gruppen geordnet. Sodann wurde ein Drahtnetz mit Maschen von bekannter Gröfse auf die jedem Haufen entnommenen Blätter gelegt und durch Abzählen der deckenden Maschen die Oberfläche bestimmt. Auf diese Weise fand Hales die Gesamtgröfse der abdunstenden Fläche gleich 5616 Quadratzoll, während er die Oberfläche der Wurzeln zu 2286 Quadratzoll und deren Gesamtlänge zu 1448 Fufs ermittelte. Da die innerhalb zwölf Stunden durch den Stamm gehende Flüssigkeitsmenge 34 Kubikzoll betrug und der Stamm einen Quadratzoll Querschnitt besafs, so ergab dies unter der Annahme, dafs der Stamm sich wie ein hohles Rohr verhält, für den aufsteigenden Saft eine Geschwindigkeit

1) Hales, Statik der Gewächse. Halle 1748. Das Original erschien in London 1727.

2) 1 Pfund = 16 Unzen.



von 34 Zoll. Zog man jedoch den Raum, welchen die feste Materie des Stammes einnahm, mit in Betracht, so erhöhte sich dieser Wert auf 45 Zoll. Hales fand, dafs der immergrüne Zitronenbaum viel weniger transpiriert als die Sonnenblume, der Weinstock und andere Pflanzen, die ihre Blätter im Winter verlieren. Spätere Versuche, welche sich auf zwölf immergrüne Bäume erstreckten, bestätigten die am Zitronenbaum gemachte Erfahrung[1]).

Von besonderem Interesse ist es nun, dafs Hales das Ergebnis seiner mit den Pflanzen angestellten Versuche fortgesetzt mit den an Tieren und Menschen gemachten Beobachtungen vergleicht. So ergeben die Berechnungen, welche er an seine Arbeit über die Transpiration der Sonnenblume anknüpft, dafs diese Pflanze in derselben Zeit unter Berücksichtigung des Körpergewichts 17 mal so viel Flüssigkeit aufnimmt und abgiebt wie der Mensch. Diesen Unterschied sieht Hales darin begründet, dafs die Flüssigkeit, welche die Pflanzen aus dem Boden einsaugen, nicht soviel Nährsubstanz enthält wie der Saft, der aus dem Verdauungskanal des Tieres in den Körper übergeht[2]).



Fig. 58. Der Wurzel Ziehen oder Saugen (Hales, Statik der Gewächse, Tab. III, Fig. X).

Da die Bewegung des Pflanzensaftes nicht wie bei den Tieren durch ein besonderes Triebwerk hervorgerufen wird und, wie Hales vermutet, nur nach einer Richtung vor sich geht, jedenfalls aber nicht in einem Kreislauf innerhalb der Gefäfse besteht, so sucht er zunächst die Kraft ausfindig zu machen, durch welche die Pflanzen Flüssigkeiten in sich ziehen. Neben einem vollbeblätterten Baum wird eine Grube hergestellt und ein kräftiger Wurzelast, nachdem man ihn abgeschnitten und mit einer Röhre versehen, in ein mit Quecksilber gefülltes Becken getaucht (siehe Fig. 58). Die Wurzel zieht

[1]) Hales, Statik, I. Hauptstück, 5. Erfahrung.

[2]) Hales, Statik der Gewächse, Seite 6. I. Hauptstück, 1. Erfahrung.

alsdann mit solcher Kraft, dafs das Quecksilber in der Röhre bis zu einer beträchtlichen Höhe emporsteigt[1]). Dieselbe Wirkung äufserte ein transpirierender Ast, wenn man das mit seinem abgeschnittenen Ende verbundene Rohr in Quecksilber tauchte. Den Vorgang selbst sucht Hales aus dem Zusammenwirken von Transpiration und Kapillarität zu erklären. Die hier in Betracht kommenden Erscheinungen bergen indes selbst für die heutige Pflanzenphysiologie noch manches Rätsel. Hales schliefst seine Untersuchung des Gegenstandes mit den Worten: „Die Pflanzen ziehen durch ihre kleinen Haarröhrchen die Feuchtigkeit so stark an, wie wir es gesehen haben. Diese Feuchtigkeit verfliegt nun durch die Transpiration, welche bewirkt, dafs die Saftgefäfse leer werden und infolgedessen neue Nahrung an sich ziehen.“ Seine Ansicht, dafs es sich bei diesem Vorgang nur um physikalische Kräfte handele, sucht er durch Experimente mit anorganischen, porösen Substanzen zu unterstützen. So wurde z. B. eine lange Glasröhre mit Mennige gefüllt und in derselben Weise wie die Wurzel mit Wasser und Quecksilber in Verbindung gesetzt. Auch in diesem Falle stieg nicht nur das Wasser in die poröse Masse empor, sondern das Quecksilber folgte bis zu einer Höhe von 8 Zoll. Nachdem man später die Kapillarität als unzureichend erkannt hatte, um das Wasser zu nennenswerter Höhe emporzuheben, hat man den Sitz der anziehenden Kräfte wohl in die Zellwand oder in den Zellinhalt verlegt, ohne dafs bisher eine nach jeder Richtung befriedigende Erklärung des in Frage stehenden Vorganges gelungen wäre.

Die meisterhaften Untersuchungen eines Hales haben auch für die Erklärung einer zweiten Reihe von Erscheinungen Grundlagen geschaffen, auf denen die Pflanzenphysiologie noch heute fufst. Es sind dies die unter dem Namen des Blutens oder Thränens bekannten Vorgänge, deren experimentelle Erforschung der Leser durch die im I. Bande wiedergegebenen Abschnitte[2]) kennen gelernt hat. Vermittelst einer Art Quecksilbermanometer (siehe Bd. I. Fig. 19) weist Hales z. B. nach, dafs der Druck der aus einer blutenden Rebe tretenden Flüssigkeit die beträchtliche Höhe von $1^1/_2$ Atmosphären erreicht und fünf mal so grofs ist wie der nach ähnlich ausgeführten Messungen in der Pulsader eines Pferdes vorhandene Druck des Blutes. Die Ansicht, dafs in der Pflanze

---

1) Hales, Statik der Gewächse, Seite 49. II. Hauptstück, 21. Erfahrung.
2) Siehe Bd. I, Seite 108 u. f.

ein Kreislauf der Flüfsigkeit wie in dem Gefäfssystem der Tiere stattfinde, widerlegt Hales durch weitere Experimente. So bringt er an transpirierenden Pflanzen oder Ästen geeignete Einschnitte übereinander an, welche sämtlich bis zum Marke gehen und nach den vier Himmelsgegenden gerichtet sind. Obgleich auf solche Weise dem Safte wiederholt der gerade Weg benommen war [1]), ging dennoch eine erhebliche Menge Feuchtigkeit durch den transpirierenden Ast hindurch; auch wurde die obere Fläche der Einschnitte nicht etwa feucht, was doch bei einer Cirkulation des Saftes hätte eintreten müssen.

Neben dem Bodenwasser schreibt Hales auch der Luft eine wichtige Rolle bei der Ernährung der Pflanzen zu. Er ist jedoch noch nicht imstande, die Gasarten zu unterscheiden; vielmehr ist für ihn jede elastisch flüfsige Materie, sei es, dafs sie durch trockene Destillation, durch Gärung oder bei der chemischen Auflösung entsteht, Luft, welche durch verschiedenartige Beimengungen verunreinigt ist. Schon früher hatte man bemerkt, dafs Pflanzenteile, welche unter einem mit Wasser gefüllten Recipienten längere Zeit belassen werden, eine bedeutende Menge Gas entwickeln. Hieraus schlofs nun Hales, dafs die Luft an der Zusammensetzung der Pflanzen teilnimmt und als wichtiges Nahrungsmittel aus der Atmosphäre aufgenommen wird. Dafs sie das Holz durchdringt, weist er vermittelst der Luftpumpe nach, auch erwähnt er die von Grew beschriebenen Dunstlöcher (Spaltöffnungen) und ihre Ähnlichkeit mit den Schweifsporen. Durch diese Dunstlöcher dringe die Luft in den Stamm und die Blätter ein.

Um die Gasmenge zu bestimmen, welche die Pflanzen bei ihrer Zersetzung von sich geben, bediente sich Hales gläserner Glocken, welche mit Wasser gefüllt und in gröfseren Behältern umgestülpt wurden (siehe Fig. 59)[2]). Diese unter dem Namen der pneumatischen Wanne bekannte Vorrichtung hat in der Folge das Studium der Gasarten aufserordentlich gefördert. Bei der trockenen Destillation von 398 Gran Erbsen erhielt Hales 396 Kubikzoll Gas, welches sich an einem Licht entzündete. In einem zweiten Versuch gab ein halber Kubikzoll oder 135 Gran von dem Holz einer Eiche 128 Kubikzoll. Die entstandene Luft nahm also einen bedeutend gröfseren Raum ein und hatte sich aus einem Viertel

1) Siehe Hales, Statik, Seite 76.

2) Hales, Statik der Gewächse, Tafel IX, Figur XXXVIII.

des angewandten Holzes gebildet, da der Rückstand etwa $^3/_4$ des ursprünglichen Gewichtes betrug[1]).

Interessant ist nun, wie **Hales** seine, wenn auch noch unvollkommene Erkenntnis, dafs die Luft in die Bildung der Pflanzensubstanz eingeht und dabei ihre Elasticität verliert, durch das Studium chemischer Prozesse zu erläutern und zu unterstützen sucht. So begegnet uns bei ihm schon jener für die spätere Analyse der Atmosphäre so überaus wichtige Versuch, dafs Phosphor in einem abgeschlossenen Luftvolumen verbrannt und eine dabei eintretende Volumverminderung nachgewiesen wird. Von diesem und den ähnlichen Versuchen **Guerickes**[2]) bis zur Beachtung der Thatsache, dafs die von dem Phosphor gebundene Luft zu dem übrig bleibenden Luftquantum stets in einem bestimmten Verhältnis steht, die Luft also aus zwei Gemengteilen zusammengesetzt ist, war nur noch ein Schritt. Auch dafs die Mennige bei ihrer Bildung Luft verschlucke, die sich mit dem Blei vereinige und zur Schwere der Mennige beitrage, führt **Hales** als Beispiel an. Ja, er erzeugt diese Luft auch durch Erhitzen in seiner Retorte wieder,

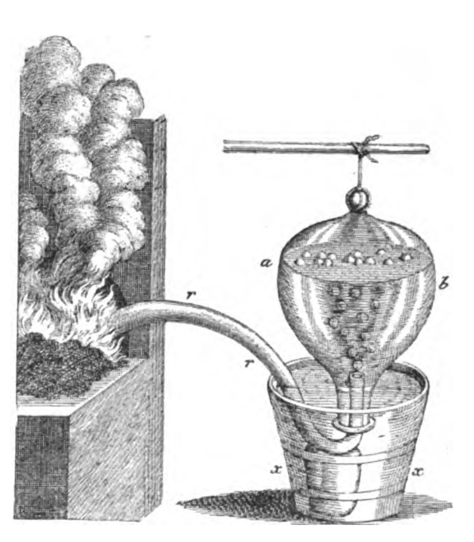



Fig. 59. Hales' Versuche über die trockne Destillation mit Benutzung der pneumatischen Wanne.

stellt also schon denselben Versuch an, der **Priestley** später zur Entdeckung des Sauerstoffs und **Lavoisier** zur richtigen Deutung des Verbrennungsprozesses führte. **Hales** besafs somit wie **Black** und andere Zeitgenossen schon die experimentelle Grundlage für diese Deutung. Dennoch konnte man sich von den älteren Vorstellungen nicht frei machen. Das Verschwinden der Luft war für **Hales** nicht so wesentlich wie die vermeintliche Aufnahme aus dem Feuer herrührender Teilchen. Wie sehr er indes von der

[1]) Hales, Statik, Seite 102 und 103. VI. Hauptstück, 55. und 57. Erfahrung.

[2]) Siehe Seite 178 ds. Bds.

Bedeutung derartiger chemischer Untersuchungen durchdrungen war, ersehen wir aus folgenden Worten, mit denen er seinen Bericht abschliefst: „Wenn doch diejenigen, die ihre Zeit und ihr Vermögen damit verschwenden, dafs sie, einer leeren Einbildung folgend, alles in Gold verwandeln wollen, an der Erforschung dieser Vorgänge arbeiteten, so würden sie, anstatt Wind zu ernten, die Lorbeeren erlangt haben, mit denen nützliche Entdeckungen belohnt werden müssen."

Neben diesen Beiträgen zur Begründung der Ernährungsphysiologie begegnen uns im 18. Jahrhundert auf botanischem Gebiete auch hervorragende Arbeiten, welche den weiteren Ausbau der von Camerarius geschaffenen Sexualtheorie bezweckten. Es sind dies die auf eine Bastardierung gerichteten Bemühungen Kölreuters, welche das Wesen der pflanzlichen Sexualität in das hellste Licht stellten, und Sprengels Nachweis der wichtigen Rolle, welche die Insekten bei der Befruchtung spielen.

War zur Erzeugung von keimfähigen Samen eine Wirkung des Pollens auf den Stempel erforderlich, die sich auf eine zunächst nicht näher zu erklärende Weise der Samenknospe mitteilt, so mufste sich die Frage erheben, welchen Anteil das männliche und das weibliche Element an dem Zustandekommen eines neuen Pflanzenindividuums besitzen. Da letzteres bei normaler Befruchtung den elterlichen Pflanzen gleicht, so war diese Frage nur durch die Übertragung des Pollens einer Pflanzenart auf die Narbe einer zweiten Art zu entscheiden, wie es schon Camerarius in Vorschlag gebracht hatte. Gelang dieser Versuch, so erwuchs daraus zugleich auch für die Richtigkeit der Sexualtheorie eine neue Bestätigung. Der erste, der auf diesem Wege Erfolg hatte und die Grundlage für alle späteren in derselben Richtung sich bewegenden Arbeiten schuf, war der Deutsche Kölreuter[1]).

Die erste Bastardierung gelang Kölreuter im Jahre 1760 an zwei Tabaksarten. „Weil ich schon lange von dem Geschlecht der Pflanzen überzeugt war," sagt er[2]), „und an die Möglichkeit einer Bastarderzeugung niemals gezweifelt hatte, so liefs ich mich

---

[1]) Joseph Gottlieb Kölreuter (1733—1806) war Professor der Naturgeschichte in Karlsruhe. Seine Resultate hat er in einer 1761 erschienenen Abhandlung niedergelegt, der von 1763—1766 drei Fortsetzungen folgten. Kölreuters Schriften wurden neuerdings durch W. Pfeffer als 41. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1893) wieder herausgegeben.

[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 41, Seite 30.



durch nichts abhalten, Versuche darüber anzustellen, in der Hoffnung, dafs ich vielleicht einmal so glücklich sein würde, eine Bastardpflanze zu Wege zu bringen. Ich habe es endlich auch bei der Nicotiana paniculata und der Nicotiana rustica soweit gebracht, dafs ich mit dem Pollen der ersteren den Stempel der anderen befruchtet, vollkommene Samen erhalten und aus diesen noch in demselben Jahre junge Pflanzen gezogen habe." Kölreuter bemerkte nun zu seiner gröfsten Genugthuung, dafs die letzteren nicht nur in der Ausbreitung ihrer Äste und der Farbe der Blumen, sondern auch bezüglich fast aller zur Blume gehörenden Teile die Mitte zwischen beiden Stammarten innehielten. Dies Ergebnis war mit der im 18. Jahrhundert von vielen gehegten, unter dem Namen der Evolutionslehre bekannten Idee, dafs die Embryonen fertig in den weiblichen Organen vorhanden seien und es zu ihrer Belebung nur eines Anstofses durch den Pollen oder Samen bedürfe, wie auch Kölreuter hervorhebt, ganz unvereinbar. In einem Punkte zeigte der Bastard jedoch ein bemerkenswertes Verhalten. Seine Staubkölbchen enthielten nämlich weniger Pollen, und dieser war auch nicht mit Flüssigkeit gefüllt, sondern bestand aus leeren Bälgen, welche eine Befruchtung nicht hervorzurufen vermochten. „Es ist also", ruft Kölreuter aus[1]), „diese Pflanze im eigentlichen Sinne ein wahrer und soviel mir bekannt der erste botanische Maulesel, der auf künstlichem Wege hervorgebracht worden ist." Obgleich der Bastardtabak durch seinen eigenen Staub nicht befruchtet werden konnte, gelang es doch, ihn mit dem Pollen seiner Stammarten zu befruchten. Auch vermochte Kölreuter später Bastarde zu züchten, welche ihrerseits wieder keimfähige Samen erzeugten. Die Entdeckung, dafs der Pollen nicht nur durch den Wind, sondern auch durch Insekten auf die Narben übertragen wird, während diese Tiere dem in den Blüten enthaltenen Nektar nachgehen, rührt gleichfalls von Kölreuter her. „Bei allen Kürbisgewächsen, Schwertlilien und nicht wenigen Malvenarten", sagt er[2]), „geschieht die Bestäubung allein durch Insekten. Ich erstaunte, als ich diese Entdeckung an einer der genannten Pflanzen machte, mein Erstaunen verwandelte sich aber bei fortgesetzter Beobachtung in die Bewunderung eines dem ersten Anschein nach zufälligen, in der That aber sichersten Mittels, dessen sich hier der weise Schöpfer bei der Fortpflanzung bedient." Diese Ent-

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 41, Seite 31.
[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 41, Seite 20.

deckung weiter verfolgt und im einzelnen den Nachweis des Zusammenwirkens der Tier- und Pflanzenwelt erbracht zu haben, ist das grofse Verdienst Sprengels.

Christian Konrad Sprengel wurde im Jahre 1750 als der Sohn eines Geistlichen zu Brandenburg a. d. Havel geboren. Nachdem er Theologie und Philologie studiert hatte, wurde er zunächst Lehrer in Berlin und darauf (1780) Rektor einer Schule in Spandau, aus welcher das dortige Gymnasium hervorgegangen ist. Sprengel widmete sich der Botanik mit solchem Eifer, dafs ihm schliefslich von seiten seiner vorgesetzten Behörde und der Spandauer Bürgerschaft Widerwärtigkeiten erwuchsen. Im Jahre 1794, ein Jahr nach der Herausgabe seines Werkes, schied er daher aus dem Amte. Die zeitgenössischen Botaniker vermochten jedoch die Resultate der Arbeiten Sprengels nicht zu würdigen. Einsam, verkannt und verarmt starb dieser am 7. April des Jahres 1816. Sein Werk, sowie sein Name gerieten in Vergessenheit, bis kein geringerer als Darwin, dessen Forschungen auf die Beziehungen zwischen Blumen und Insekten ein neues Licht geworfen haben, wieder auf Sprengel und dessen „eigentümliches Buch mit dem sonderbaren Titel" aufmerksam machte.

Mit diesem Buche ist der Leser bereits durch den 34. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden[1]), welcher Sprengels wichtigste Ergebnisse in eigener Darstellung zum Ausdruck bringt. Diese Ergebnisse gipfeln in dem Satze, „dafs die Befruchtung des Fruchtknotens der Endzweck ist, auf welchen sich die ganze Struktur der Saftblume bezieht und aus dem sie sich völlig erklären läfst[2]). An dieser Stelle möge noch gezeigt werden, wie Sprengel eine der bekanntesten Anpassungen solcher Art im einzelnen aufdeckt. Es handelt sich um die Osterluzzei (Aristolochia Clematitis), eine in Gebirgswäldern häufig vorkommende protogynische[3]) Pflanze. Sprengel hatte fast jedesmal kleine Fliegen in dem Kessel (Fig. 60, k) der aufrecht stehenden Krone A gefunden, während in dem Kessel einer herabhängenden Krone (B) keine einzige Fliege vorkam. Sprengel glaubte zuerst, dafs die Innenwand der Krone glatt sei und die Insekten daher, wenn die Blume sich nach unten kehrt,

[1]) C. K. Sprengel, Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen. Berlin 1793. Herausgegeben von Paul Knuth als 48.—51. Bändchen von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Engelmann. 1894.

[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 48, Seite 31.

[3]) Siehe Anm. Bd. I, Seite 203.



herausfielen. Als diese Vermutung indes durch eine Probe nicht bestätigt wurde, schnitt er die Krone auf und untersuchte sie genauer. Da sah er, „dafs die Röhre der aufrechtstehenden Blume mit steifen fadenförmigen Haaren besetzt ist, welche ungefähr in der Mitte derselben anfangen, sowie dafs diese Haare mit ihrer Spitze nicht der Öffnung der Krone, sondern dem Kessel zugekehrt sind und eine kleine Reuse bilden, durch welche die Fliegen zwar leicht in den Kessel hinein, aber nicht wieder herauskriechen können. Was aber die herabhängende Blume anbetrifft, so waren in derselben diese Fäden verwelkt und zusammengeschrumpft und sahen wie schwarze Punkte aus. Hierdurch war also das Gefängnis geöffnet worden, und die Fliegen hatten nicht gesäumt, sich aus demselben wieder ins Freie zu begeben.“

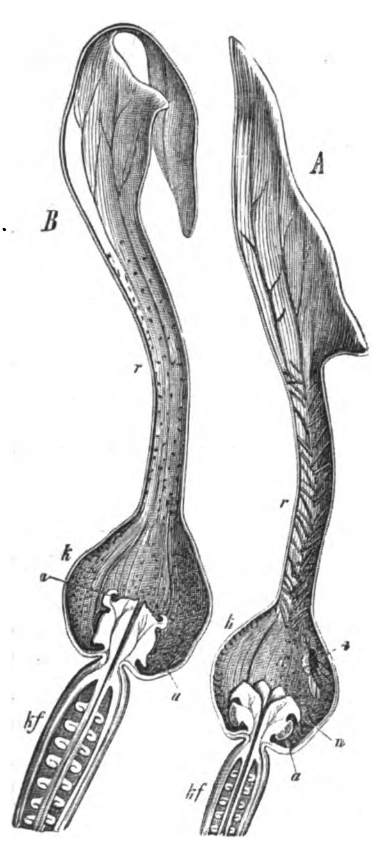



Fig. 60. Blüte der Aristolochia Clematitis, A vor und B nach der Bestäubung [1]).

Des weiteren führt nun Sprengel aus, dass die Blume drei verschiedene Zustände durchläuft. Nachdem sie nämlich eine bestimmte Gröfse erlangt und sich geöffnet hat, scheint sie zwar zu blühen, in der That aber blüht sie noch nicht, d. h. sie ist noch nicht fähig, befruchtet zu werden, weil weder eine Anthere ihre gehörige Reife, noch die Narbe ihre völlige Ausbildung erhalten haben. Während dieses Zustandes soll die Blume eine Anzahl Fliegen fangen, von welchen sie im zweiten Stadium befruchtet werden soll. Sobald die Natur ihren Endzweck erreicht hat, versetzt sie die Blume in den dritten Zustand, dieselbe kehrt sich um, die kleine Reuse verschwindet und die Fliegen erhalten ihre

[1]) Sachs, Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl. Leipzig 1874. Fig. 489.

Freiheit wieder. Dafs auch bei der Aristolochia die von ihm für viele Fälle nachgewiesene Fremdbestäubung stattfindet, indem die befreiten mit dem Pollen bedeckten Insekten die vor den Antheren sich entfaltende Narbe einer jüngeren Blume bestäuben, hat Sprengel übersehen. Im übrigen war er jedoch der erste, welcher auf die Fremdbestäubung aufmerksam gemacht und die Dichogamie als das sicherste Mittel zur Erreichung derselben nachgewiesen hat[1]). „Da viele Blumen“, sagt er, „getrennten Geschlechtes und viele Zwitterblumen dichogam sind, so scheint die Natur es nicht haben zu wollen, dafs irgend eine Blume durch ihren eigenen Staub befruchtet wird[2]).“

Von den wunderbaren Einrichtungen, welche Sprengel entdeckte und auf jenen Zweck zurückführte, seien noch diejenigen erwähnt, welche die Blüten der Berberitze, des Wiesensalbeis und der Orchideen aufweisen. Eine auf das Dogma von der Konstanz der Arten gegründete Botanik wufste allerdings zu diesen merkwürdigen Ergebnissen keine Stellung zu nehmen und zog es daher vor, dieselben mit Stillschweigen zu übergehen. Erst als man in der neuesten Zeit dieses Dogma aufgab, wurde das Interesse an blütenbiologischen Untersuchungen, welche der Lehre von der allmählichen Entwicklung der Arten eine wesentliche Stütze verliehen haben, von neuem wieder lebendig.

Auch hinsichtlich der Zoologie mufs die Zeit, welche wir zu schildern versuchen, als die Periode der überwiegenden Systematik bezeichnet werden. Doch mehren sich die Bestrebungen, in den Bau, die Lebensweise und die Entwicklung insbesondere der niederen Tiere einzudringen, gleichfalls in erfreulicher Weise. Während z. B. noch die Systematiker des 17. Jahrhunderts, darunter Männer wie Ray[3]), die Korallen für im Meere wachsende Pflanzen hielten, begegnet uns in den zwanziger Jahren des 18. Jahrhunderts zum erstenmale die Ansicht, dafs die vermeintlichen Blüten der Polypenstöcke Tiere[4]) und die Hartteile, welche Veranlassung zu der Bezeichnung „steinerne Pflanzen“ gegeben hatten, deren Absonderungsprodukte seien, eine Ansicht, der die Zoologen jener Zeit mit Spott begegneten.

Ein helles Licht verbreiteten über diesen Gegenstand etwa

---

1) Siehe Bd. I, Seite 203.

2) Ostwalds Klassiker Nr. 48, Seite 56.

3) Siehe Bd. I, Seite 219, Anm. 2.

4) Peyssonnel, 1723 auf Grund seiner an den Küsten der Provence und Nordafrikas angestellten Untersuchungen.

20 Jahre später die Arbeiten Trembleys (1710—1784), von deren Erscheinen K. E. von Baer den Beginn einer neuen Epoche der Physiologie datierte. Trembley stellte seine Untersuchungen an einem den Korallentieren und Schwämmen nahe verwandten Geschöpf unserer Binnengewässer, dem Süfswasserpolypen, an. Einige der von ihm erhaltenen Ergebnisse, und zwar diejenigen, welche sich auf das aufserordentliche Reproduktionsvermögen dieses Tieres beziehen, hat der Leser aus dem 22. Abschnitt des I. Bandes bereits kennen gelernt. In bewunderungswürdiger Weise wurde hier zum erstenmale die experimentelle Forschungsweise auf ein Gebiet ausgedehnt, das sich kaum der deskriptiven Behandlung erschlossen hatte und, wie die verwandten Gebiete, bislang nur einer solchen zugänglich erschien. Ein Forscher der neuesten Zeit, dem der Süfswasserpolyp den Stoff zu einer ausgezeichneten Monographie geboten hat[1]), rühmt von Trembley, dafs alle Nachfolger seine Untersuchungen kaum in ihrer Vollständigkeit zu wiederholen, geschweige denn etwas neues hinzuzufügen vermochten. Nur der später erfolgte Nachweis einer geschlechtlichen Fortpflanzung dieser Tiere ist als ein wesentlicher Fortschritt zu betrachten. Trembley hat wohl die Eier und Samen bereitenden Organe wahrgenommen, ohne jedoch ihre Bedeutung zu erkennen. Den Vorgang der Knospung (siehe Bd. I, Fig. 21), hatte bekanntlich schon Leeuwenhoek[2]) am Süfswasserpolypen beobachtet.

Das gleichfalls von Leeuwenhoek in der vorigen Periode erschlossene Gebiet der mikroskopischen Durchforschung von Aufgüssen oder „Infusionen“, wie er sie nannte, wurde während des 18. Jahrhunderts mehr von Liebhabern der Mikroskopie, welche daran ihr „Gemüt ergötzen“ wollten, als von eigentlichen Zoologen angebaut. Trotzdem wurde hierdurch die Formenkenntnis sowie das Wissen von dem Leben der niederen Tiere aufserordentlich bereichert. So entstanden die im Jahre 1760 erschienenen „Mikroskopischen Gemüts- und Augenergötzungen“ Ledermüllers[3]), ein reichillustriertes Werk, welches sich gleich den Arcana naturae Leeuwenhoeks, ohne ein bestimmtes Ziel ins Auge zu fassen, allem zuwendet, was die Wifsbegierde des dilettantischen Mikroskopikers reizt. Dennoch birgt Ledermüllers Buch die Kunde

---

[1]) N. Kleinenberg, Hydra. Eine anatomisch-entwicklungsgeschichtliche Untersuchung. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1872.

[2]) Siehe Seite 230 ds. Bds.

[3]) Geboren 1719 in Nürnberg, starb daselbst 1769, war von Beruf Jurist

von mancher wichtigen Entdeckung. In buntem Wechsel führen uns seine Tafeln Schimmelbildungen, Krystallisationen, Kleisterälchen, Haare, Schweifsporen, Würmer, Stacheln, Zangen von Insekten u. s. w. vor. Auch die Nerven werden untersucht. Ledermüller nennt sie „erschreckliche Folterwerkzeuge für den Menschen" und widerlegt die Ansicht, dafs sie hohl seien. Wie Ledermüller berichtet, beschäftigte sich im Jahre 1727 die Petersburger Akademie mit derselben Frage. Diese Gesellschaft dehnte ihre Untersuchung sogar auf den Elefanten aus und fand, dafs die Nerven dieses Tieres weder hohl noch erheblich dicker seien als diejenigen der übrigen Säugetiere. Vergeblich bemühte sich Ledermüller die Vorgänge, welche nach der Bestäubung der Blüten eintreten und zu deren Befruchtung führen, mikroskopisch zu verfolgen. „Ich habe mir," sagt er[1]), „alle Mühe gegeben, Öffnungen auf der Narbe zu sehen, in welche die Körner des Blütenstaubes kommen möchten, allein ich habe solche nicht entdecken können. Ich glaube daher, dafs nicht der Staub selbst, sondern vielmehr die in seinen Körnern eingeschlossene ölige Substanz die Befruchtung veranlasse." Jedoch ist Ledermüller wohl bekannt, dafs sich in manchen Fällen in dem Griffel ein Kanal nachweisen läfst[2]). Er erwähnt auch, dafs von anderer Seite ein Eindringen des Staubes in diesen Kanal behauptet und der Befruchtungsvorgang in dieser Erscheinung erblickt werde. Die Klarstellung dieser Verhältnisse blieb jedoch der mikroskopischen Forschung des 19. Jahrhunderts vorbehalten[3]).

Ein besonderes Interesse wandte Ledermüller auch den Aufgufstierchen zu, welchen er zuerst den Namen Infusorien beilegte. Umstehende Abbildung 61 ist die Reproduktion einer Tafel seines Werkes[4]), auf der er einige von ihm als Schalmeientierlein (i, k), Deckeltierlein (y, w, x), Glockentierlein (l) bezeichnete, den Gattungen Stentor und Vorticella angehörende Infusorienarten zur Darstellung bringt. Auch die Frage nach der Entstehung dieser Geschöpfe wurde damals lebhaft erörtert. Während von der einen Seite die von Swammerdam und Redi hinsichtlich der Insekten widerlegte Urzeugung, zur Erklärung des so rätsel-

---

1) Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen. 1761. Seite 46.

2) z. B. bei Butomus und Viola.

3) Amici entdeckte den Pollenschlauch 1823 und dessen Eindringen in die Samenknospe 1830.

4) Ledermüller, Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen. 1761. II. Bd. Tafel LXXXVIII.



haften Auftretens der Infusorien wieder in Anspruch genommen wurde, glaubten andere Forscher[1]) an eine Fortpflanzung durch




Fig. 61. Ledermüllers Abbildung von Aufgufstierchen.

Eier und Keime, welche sich in den zur Herstellung des Aufgusses benutzten Stoffen befänden. Da ein Nachweis dieser

[1]) Wie der berühmte italienische Physiologe Spallanzani (1729—1799).

Keime äufserst schwierig war, konnte die Lehre von der Urzeugung, welche zumal in Buffon einen angesehenen und eifrigen Vertreter fand, sich bis weit ins 19. Jahrhundert hinein erhalten. Ihre endgültige Beseitigung erfolgte erst durch die Experimente Pasteurs. Die im 60. Abschnitte des I. Bandes wiedergegebene Abhandlung dieses Forschers ist auch geeignet, den Leser mit der im 18. Jahrhundert zwischen Spallanzani und seinen Gegnern geführten Kontroverse bekannt zumachen.

Für die niedersten Pflanzen, wie die Pilze und Flechten, hatte Caesalpin[1]) ebenfalls die Urzeugung angenommen. „Manche Pflanzen," sagt derselbe, „haben überhaupt keinen Samen, sie entstehen nur durch Fäulnis und sind gewissermafsen ein Mittelding zwischen den Pflanzen und der unbelebten Natur." Jungius der aufgeklärteste Botaniker des 17. Jahrhunderts[2]), auf den sich Linné ganz besonders stützt, bezweifelt dies jedoch, während der letztere meint, dafs „auch bei den untersten Stufen der Gewächse Blumen und Früchte vorhanden sind, obgleich sie ihrer Kleinheit wegen nicht deutlich wahrgenommen werden". Aus dieser Ansicht erklärt sich die von Linné für die niederen Pflanzen angewandte Bezeichnung „Kryptogamen" (Verborgenblütige). Die Einsicht in diejenigen Vorgänge, welche die Fortpflanzung der Kryptogamen ausmachen, blieb gleichfalls der neuesten Periode vorbehalten.

Neben der Lehre von der Urzeugung wurde das Gebiet der Biologie während des 18. Jahrhunderts noch durch eine zweite Irrlehre verdunkelt, welche uns heute fast noch sonderbarer als jene anmutet; es ist die von Harvey ausgehende und von dem grofsen Anatomen und Physiologen Albert von Haller gestützte Evolutions- oder Einschachtelungstheorie. Das Studium der Befruchtung und Entwicklung hatte die Frage nach der Erklärung dieser Vorgänge angeregt. So war Harvey zu der Annahme geführt worden, das Ei enthalte die vollständige Anlage desjenigen Wesens, welches daraus hervorgeht. Dadurch kamen wieder Philosophen und Naturkundige des 18. Jahrhunderts auf die Idee, dafs in Konsequenz der Lehre Harveys das Ei auch die nächstfolgende, sowie alle späteren Generationen enthalten müsse. Diese Einschachtelungstheorie, gegen welche unter anderem auch die von Kölreuter bei seinen Bastardierungsversuchen erhaltenen Resultate sprachen, wurde dann durch Kaspar Friedrich Wolff in seiner Theoria

1) Siehe Seite 221 ds. Bds.
2) Jungius wurde 1587 in Lübeck geboren und starb im Jahre 1657.

generationis vollständig widerlegt [1]. Mit diesem Forscher beginnt die moderne Entwicklungsgeschichte, welche den Vorgang der Entstehung als ein Werden oder einen Wachstumsprozefs betrachtet und denselben neuerdings teils aus der Stammesgeschichte, teils aus mechanischen Ursachen zu erklären sucht.

Wie wir sahen, war der geschilderte Zeitraum, welcher den gröfsten Teil des 18. Jahrhunderts umfafst, auf dem Gebiete der Astronomie und der Physik vorzugsweise mit der Lösung aus der Newton-Huygensperiode überkommener Probleme beschäftigt. Fast ausschliefslich in das 18 Jahrhundert fällt der Aufschwung, den die Lehre von der Reibungselektricität erfuhr. Hier waren die beiden vorangehenden Perioden kaum über die seit alters bekannten einfachsten Wahrnehmungen hinausgekommen. Auf dem Gebiete der Chemie wurde durch zahlreiche Beobachtungen die grofse That vorbereitet, welche dieser Wissenschaft im Beginn der neuesten Zeit ein gänzlich verändertes Aussehen geben sollte, während in der Zoologie und der Botanik die systematische Richtung überwog und nur hin und wieder das induktive Verfahren zum Durchbruch kam. Dafs dieses Verfahren auf allen Gebieten Platz greift und dafs man es überall mit der mathematischen Behandlungsweise zu verknüpfen sucht, kennzeichnet die neueste Periode in der Entwicklung der Wissenschaften, deren Betrachtung wir uns jetzt zuwenden.

---

[1] Übersetzt und herausgegeben von Dr. Paul Samassa als 84. und 85. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1896.



# IV. Die neueste Zeit.

Gegen das Ende des 18. Jahrhunderts macht sich auf allen Gebieten des geistigen, sowie des sozialen Lebens ein Umschwung bemerkbar, welcher für die gesamte Kulturentwicklung den Beginn einer neuen Phase bedeutet. In der Staatengeschichte erreicht dieser Vorgang seinen Höhepunkt in der französischen Revolution, mit welcher der Historiker die neueste Zeit beginnen läfst. Die Geschichte der Wissenschaften verzeichnet zwar gleichfalls einen mit der sozialen und politischen Entwicklung Schritt haltenden Wechsel; ihren Geschehnissen ist aber das scheinbar Unvermittelte bei weitem nicht in solchem Mafse eigen wie den politischen Begebenheiten.

Die Naturwissenschaften waren auf dem Punkte angelangt, dafs zahlreiche Kräfte sich zu ihrem weiteren Ausbau die Hand reichen mufsten, während in den vorhergehenden Perioden der Einzelne noch einen überwiegenden Einflufs ausgeübt hatte. Das neueste Zeitalter in der Entwicklung der Wissenschaften wird dementsprechend auch nicht durch eine hervorragend wichtige Entdeckung oder durch das Auftreten eines bedeutenden Forschers eingeleitet. Während für die Chemie eine neue Epoche beginnt, wandeln die Astronomie und die Mechanik in den eingeschlagenen Bahnen weiter. Die Prinzipien der letzteren werden in immer höherem Mafse auf die übrigen Teile der Physik angewandt, welcher sich mit der Entdeckung des Galvanismus ein neues wichtiges Gebiet erschliefst. Auch die Zoologie und die Botanik werden von einem Wechsel betroffen. Auf das Vorherrschen der Systematik folgt eine Richtung, in welcher morphologische und bald darauf auch physiologische Fragen an die erste Stelle rücken. Etwa in die Mitte der neuesten Periode fällt dann die grofsartige Verallgemeinerung und Verknüpfung der gesamten bisherigen Forschungsergebnisse durch die Durchführung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft. Die Betrachtung der dann folgenden letzten Entwicklungsstadien wird bis zu den Problemen des Tages führen und schliefslich einen Ausblick in eine verheifsungsvolle Zukunft eröffnen.

## 1. Die Neugestaltung der Chemie durch die Erklärung der Verbrennungserscheinungen und die Aufstellung der atomistischen Hypothese.

Eine Reihe von Dezennien war seit der Begründung der neueren Physik verflossen, ehe die Chemie ihr mittelalterliches Gewand abstreifte und unter der Ägide Boyles einem rein wissenschaftlichen Ziele, nämlich dem Studium der Zusammensetzung der Körper, nachzustreben begann. Boyle hatte den Begriff des chemischen Elementes aufgestellt und der analytischen Chemie eine sichere Grundlage gegeben. Auch hatte er sowohl die experimentelle Erforschung als auch die Erklärung der Verbrennungserscheinungen in Angriff genommen. Während der erste Teil dieser Aufgabe durch Boyle und seine Nachfolger sehr gefördert und ein grofses auf den Vorgang der Verbrennung bezügliches Thatsachenmaterial herbeigeschafft wurde, blieb das gesamte von Boyle bis Lavoisier reichende Zeitalter bezüglich aller Erklärungsversuche in dem Banne der von Stahl begründeten Phlogistontheorie befangen. Selbst als Lavoisier seine antiphlogistische Lehre bis in ihre Einzelheiten ausgeführt hatte, vermochten jene Männer, auf die er sich besonders stützte, wie Priestley und Scheele, der älteren Theorie, die sie bei ihren grofsen Entdeckungen geleitet, nicht zu entsagen. Mit Dalton, Berzelius und Gay-Lussac trat indes ein neues Geschlecht von Forschern auf den Schauplatz. Indem diese an Lavoisier anknüpften, begann für die Chemie das Zeitalter der quantitativen Untersuchungen. Dadurch wurden die Beziehungen zur Physik immer engere, was sich auch darin aussprach, dafs die Mehrzahl der damaligen Forscher auf beiden Gebieten hervorragende Leistungen aufzuweisen hatten. Die Chemie erhielt somit in dieser den letzten Teil des 18. und den Beginn des 19. Jahrhunderts umfassenden Periode im wesentlichen ihre heutige Richtung und Gestalt.

Eine Einsicht in den Vorgang der Verbrennung wurde erst dadurch ermöglicht, dafs Priestley die Erforschung der Gase in die Hand nahm und Scheele die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft aus zwei Bestandteilen nachwies. Bis zur Zeit van Helmonts hatte man die Gasarten, von denen insbesondere der Wasserstoff, sowie das Kohlendioxyd bekannt geworden waren, noch nicht unter sich und von der atmosphärischen Luft unterschieden, sondern jeden gasförmigen Körper mit der Luft identifiziert



und die beobachteten Verschiedenheiten auf Beimengungen zurückgeführt. Ein erfolgreiches Studium der Gase begann erst mit der von Hales herrührenden Erfindung der pneumatischen Wanne und der Verwendung des Quecksilbers als Absperrflüssigkeit. Das letztgenannte Verfahren ermöglichte Priestley die Entdeckung der im Wasser löslichen Gasarten, wie des Ammoniaks und des Chlorwasserstoffs. Klare Ansichten über die chemische Natur der Gase kamen jedoch erst mit Lavoisier auf, welcher Sauerstoff und Wasserstoff als Elemente ansprach.

Joseph Priestley (1733 in England geboren, gestorben 1804 in Nordamerika) legte die Resultate seiner mühevollen auf die Gase bezüglichen Untersuchungen in einer Anzahl seit dem Jahre 1772 veröffentlichter Abhandlungen nieder, welche zum Teil zu einem gröfseren Werke [1]) vereinigt wurden. Zunächst befafst sich Priestley in diesen Schriften mit dem von ihm als fixe Luft bezeichneten Kohlendioxyd [2]). Er entnimmt dieses Gas, das sich bei der Gärung bildet, den Brauereien, oder er stellt es durch Übergiefsen von Kreide mit Säuren her. Die Untersuchungen Priestleys betreffen auch die Löslichkeit des Kohlendioxyds in Wasser. Gleichzeitig giebt er Anweisung über die durch Sättigen des Wassers zu bewerkstelligende Gewinnung künstlicher Säuerlinge. Von der Verwertbarkeit der Resultate wissenschaftlichen Forschens war Priestley tief durchdrungen. „Da wir selbst Teile des Systems sind," heifst es in seiner Naturlehre [3]), „so ergiebt sich, dafs je vollkommener unsere Kenntnisse von den Naturgesetzen sind, umsomehr Gewalt wir über die Natur haben, und dafs wir umso geschickter sind, solche Einrichtungen in der Welt zu treffen, die uns am meisten zusagen. Nur die tiefere Einsicht in die Gesetze der Natur gewähren dem Europäer diejenigen Vorzüge, welche er vor dem Wilden voraus hat. Wenn die Wissenschaft wie bisher immer gröfsere Fortschritte macht, so wird das menschliche Geschlecht nach einigen Jahrhunderten, bezüglich der gemachten Entdeckungen uns ebenso sehr übertreffen, wie wir jetzt die Wilden, denn die Natur ist unerschöpflich, sie gleicht einer Erzgrube, in welcher sich immer neue Anbrüche zeigen und welche denen, die hinabsteigen, Stoff zu ununterbrochener Beschäftigung darreicht."

---

1) Priestley, Experiments and observations on different kinds of air. 3 vol. 1774—1777; übersetzt von Ludewieg 1778.

2) Philosophical Transactions. LXII. 1772.

3) Priestley, Versuche und Beobachtungen über verschiedene Teile der Naturlehre. Deutsche Übersetzung vom Jahre 1780. Bd. III. Vorrede.

Auf die Gegenwart von fixer Luft in der Atmosphäre hatte schon Black[1]), sowie der schwedische Naturforscher Bergmann hingewiesen. Beide machten darauf aufmerksam, dafs sich Kalkwasser an der Luft mit einer weifsen, festen Masse bedeckt, aus der sich durch Übergiefsen mit Säure die fixe Luft wieder freimachen läfst[2]).

Priestleys weitere Bemühungen liefen insbesondere darauf hinaus, die Säuren in Luftarten zu verwandeln. So erzeugte er aus Schwefelsäure die vitriolsaure Luft ($SO_2$) und aus Salpetersäure die salpetersaure Luft ($NO$). Er bemerkte, dafs das letztere Gas sich mit Sauerstoff unter Verminderung des Gesamtvolumens zu $NO_2$ verbindet und gründete hierauf ein Verfahren, die atmosphärische Luft zu analysieren. Priestley wies ferner nach, dafs die beim Zusammenbringen von Kochsalz und Schwefelsäure auftretenden Dämpfe aus einer in Wasser aufserordentlich löslichen Luftart bestehen. Es gelang ihm, dieses salzsaure Gas ($HCl$), wie auch die beim Zusammenbringen von Salmiak und Kalk auftretende laugenartige Luft ($NH_3$) über Quecksilber aufzufangen. Auch das Stickoxydul ($N_2O$) und das Kohlenmonoxyd ($CO$) wurden von Priestley dargestellt. Am folgenreichsten war die ihm im Jahre 1774 gelungene Entdeckung des Sauerstoffs, welchen Priestley durch Erhitzen von rotem Quecksilberoxyd bereitete. Den Ruhm dieser Entdeckung hat er allerdings, wie wir gleich sehen werden, mit Scheele zu teilen.

Bevor sich Priestley seinen Arbeiten über die Gase zuwandte, befafste er sich insbesondere mit elektrischen Versuchen. Sein Buch über die Geschichte und Lehre der Elektricität[3]) hatte grofsen Anklang gefunden und ihm die Mitgliedschaft der Royal Society eingetragen. Es ist nun von Interesse zu sehen, wie Priestley seine auf diesem Gebiete erworbenen Kenntnisse bei dem experimentellen Studium der Gase verwertet. So schliefst er atmosphärische Luft in eine Glasröhre über Wasser ein und läfst den Funken wiederholt hindurchschlagen. Dabei zeigte sich, dafs sich das Luftvolumen vermindert. War das in der Röhre befindliche Wasser mit Lackmus gefärbt, so nahm es eine rote Farbe

[1]) Joseph Black, 1728—1799, Professor der Chemie zu Glasgow und Edinburg.

[2]) Abhandlungen der schwedischen Akademie d. Wissensch. XXXV.

[3]) History and present state of electricity with original experiments. London 1767. Übersetzt von Krünitz. Stralsund 1772.

an[1]). Das umgekehrte Verhalten zeigte das Ammoniak- oder laugenhafte Gas ($NH_3$). Unter der fortgesetzten Einwirkung des elektrischen Funkens vergröfserte es sein Volumen. Priestley nahm auch wahr, dafs hierbei eine tiefgreifende chemische Veränderung mit dem Ammoniakgas vor sich geht. „Vorher wurde es," so berichtet er, „vom Wasser leicht verschluckt. Mit elektrischer Materie überladen, scheint es keine Verwandtschaft mehr zum Wasser zu haben. Es ist in eine eigene Art zündbare Luft verwandelt[2])." Auch die Analyse von Gasen durch Detonation derselben rührt von Priestley her. Brennbare Gase oder Gasgemenge mischte er über Quecksilber mit Sauerstoff. Durch den elektrischen Funken wurde alsdann eine Verpuffung herbeigeführt und der Rückstand untersucht. So fand Priestley, dafs diejenige zündbare Luft, welche man erhält, wenn man Alkoholdampf durch eine glühende Röhre leitet oder Holz der trockenen Destillation unterwirft, nach dem Verpuffen mit Sauerstoff einen Rückstand von fixer Luft ($CO_2$) hinterläfst[3]), während dies beim Detonieren der aus Eisen und Schwefelsäure hergestellten zündbaren Luft (H) nicht der Fall war. All diese Errungenschaften eines ganz hervorragenden experimentellen Geschicks sind für die Entwicklung der Chemie von gröfster Bedeutung gewesen, doch begegnen uns dieselben bei Priestley im Gewande der phlogistischen Theorie. Die Verbrennung besteht bei ihm in einem Entweichen von Phlogiston, das von den die Verbrennung unterhaltenden Luftarten aufgenommen wird, und zwar umso energischer, je weniger diese Luftarten davon besitzen. Sauerstoff unterhält die Verbrennung am

---

1) Cavendish wiederholte diesen Versuch und lieferte den Nachweis, dafs hierbei durch die Vereinigung von Sauerstoff und Stickstoff Salpetersäure entsteht. Als absorbierende Flüssigkeit wandte er Alkali an, mit dem die entstandene Säure Salpeter bildet. Cavendish machte schon die Beobachtung dafs bei diesem Versuch trotz genügender Zufuhr von Sauerstoff ein nicht absorbierbarer Rest zurückbleibt. Diese eigentümliche Erscheinung hat erst im Jahre 1894 dadurch ihre Erklärung gefunden, dafs Rayleigh und Ramsay als dritten wesentlichen Bestandteil der Atmosphäre das Argon nachwiesen, ein Element, das mit dem Sauerstoff unter der Einwirkung des elektrischen Funkens keine Verbindung eingeht.

2) Es ist dies die noch jetzt in Vorlesungen beliebte Analyse des Ammoniaks, welches dabei unter Verdoppelung seines Volumens in Stickstoff und „zündbaren" Wasserstoff zerfällt.

3) Beim Hindurchleiten durch ein glühendes Rohr zerfällt der Alkohol in ein Gasgemisch, das vorzugsweise aus Kohlenwasserstoffverbindungen, wie Methan, Aethylen, Benzol etc., besteht und bei seiner Detonation mit Sauerstoff $CO_2$ liefert.

besten, weil er gar kein Phlogiston enthält. Priestley nennt dieses Gas daher dephlogistisierte Luft. Wasserstoff ist dagegen reines Phlogiston, da es die erhitzten Metalloxyde in Metalle zurückverwandelt. Die atmosphärische Luft stellt sich nach dieser Theorie als ein Gemenge von dephlogistisierter (O) und phlogistischer Luft (N) dar. Durch die bei der Verbrennung vor sich gehende Zufuhr von Phlogiston verwandelt sie sich ganz in phlogistische Luft. Auf den Widerspruch, der darin liegt, dafs bei der Verbrennung die atmosphärische Luft ihrem Volumen sowie ihrem Gewichte nach vermindert wird, ist Priestley nicht gekommen. Auch die Entdeckung der Thatsache, dafs bei der Vereinigung von reinem Phlogiston (H) mit reiner dephlogistisierter Luft (O) keine Spur von phlogistischer Luft (N), sondern Wasser auftritt, liefs diesen Forscher an der eingewurzelten Theorie nicht irre werden. Auf den nahe liegenden Gedanken, das Gewicht der zündbaren Luft in den aus Metallkalk entstandenen Metallen zu bestimmen, ein Gedanke, dessen Ausführung auf einen weiteren Widerspruch geführt haben würde, ist Priestley zwar gekommen. Wie er sagt, ist er jedoch aufser stande gewesen, die Frage, ob das Metalloxyd bei seiner Umwandlung schwerer oder leichter wird, zu entscheiden, da immer eine teilweise Sublimation stattgefunden habe. Er verfolgt die Sache daher trotz ihrer ausschlaggebenden Bedeutung nicht weiter, sondern entscheidet sie im Sinne der von ihm vertretenen Theorie. An ihm, sowie an Scheele, welche das gesamte zur Aufstellung der wahren chemischen Theorie erforderliche Material in den Händen hielten, erwies sich recht eigentlich die Wahrheit des Wortes von Laplace, dafs die Entdeckungen in der Verknüpfung derjenigen Ideen bestehen, welche zu einander passen.

Während sich Priestley wesentlich auf das Studium der Gase beschränkte, erfuhren zur selben Zeit sämtliche Teile der Chemie eine kaum jemals wieder in gleichem Mafse von einem einzigen Manne ausgehende Bereicherung durch Scheele. Derselbe war seiner Abstammung und Sprache nach ein Deutscher, wenn ihn auch die Schweden mit gleichem Rechte als den Ihrigen betrachten und sein Verdienst vor wenigen Jahren durch die feierliche Begehung seines hundertundfünfzigsten Geburtstages und die Errichtung eines Standbildes gefeiert haben.

Karl Wilhelm Scheele wurde am 9. Dezember 1742 in dem damals schwedischen Stralsund geboren. Im 14. Lebensjahre widmete er sich der Apothekerlaufbahn. Nachdem er in mehreren schwedischen Städten seine Lehr- und Gehülfenjahre zugebracht

und während dieser Zeit durch unermüdliches Experimentieren zu den hauptsächlichsten Ergebnissen seiner Forscherthätigkeit gelangt war, übernahm er 1775 eine eigene Apotheke[1]) und starb am 21. Mai des Jahres 1786.

Mit den auf den Sauerstoff und die atmosphärische Luft bezüglichen Resultaten Scheeles ist der Leser bereits durch einen im I. Bande wiedergegebenen Auszug aus der wichtigsten Arbeit dieses Forschers bekannt geworden[2]). Letztere führt den Titel „Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer" und erschien im Jahre 1777. Die Versuche, welche Scheele in derselben mitteilt, wurden jedoch schon in der Zeit von 1768—1773 ausgeführt. Wie aus seinem vor kurzem veröffentlichten Briefwechsel[3]) hervorgeht, entdeckte er den Sauerstoff zu Beginn des Jahres 1773, während Priestley dieses Element zum erstenmale am 1. August des Jahres 1774 dargestellt hat, sodafs Scheele unzweifelhaft die Priorität besitzt, wenn ihm auch Priestley in der Veröffentlichung dieser fundamentalen Entdeckung zuvorgekommen ist. Aus dem gedachten Briefwechsel geht ferner hervor, dafs Scheele schon im Jahre 1770 mit der Darstellung von Chlorwasserstoff, Ammoniak und Stickoxyd bekannt war. Den Sauerstoff stellte er nicht nur, wie wir schon erfuhren[4]), durch Erhitzen eines Gemenges von Braunstein und Schwefelsäure, sowie aus Salpeter her, sondern er bereitete ihn auch durch Glühen leicht zersetzbarer Oxyde, wie des Goldoxyds und des roten Quecksilberoxyds, dessen sich bekanntlich auch Priestley bediente.

Scheeles Arbeit über den Braunstein lehrte aufser dem Sauerstoff auch Mangan, Chlor und Baryterde (BaO) kennen, welche in den von ihm untersuchten Braunsteinsorten als Beimengung enthalten ist. Eine Lösung von Baryterde benutzte er, wie es noch heute geschieht, zum Nachweis der Schwefelsäure, während man sich vorher zu diesem Zwecke der viel weniger geeigneten Kalklösung bedient hatte.

Aufserordentlich waren Scheeles Verdienste um die vor ihm kaum als Wissenszweig bestehende organische Chemie. Aus den sauren Pflanzensäften erhielt er durch Zusatz von Kalk- oder Bleilösung Niederschläge, die er als die Salze gewisser Säuren erkannte.

---

1) In Köping, wo er im Alter von 43 Jahren starb.

2) Siehe Band I, Seite 167.

3) Herausgegeben von v. Nordenskjöld. Siehe Naturwissenschaftliche Rundschau, VIII, Seite 518.

4) Siehe Bd. I. Seite 171, 172.

Durch Zersetzen dieser Niederschläge mittelst Schwefelsäure gelang ihm die Darstellung der wichtigsten organischen Verbindungen, wie der Wein-, der Citronen-, der Äpfelsäure u. s. w. Die Zersetzung von Blutlaugensalz führte ihn zur Entdeckung der Blausäure. Auch auf das seit alters bekannte Verhalten der Fette gegen die Alkalien warfen seine Untersuchungen das erste Licht, indem er aus den Fetten durch Behandeln derselben mit Bleioxyd das Glycerin abschied. Alles dies sind Ergebnisse, die, wie wir sehen werden, für die Arbeiten späterer Forscher grundlegend gewesen sind. Der Umstand, dafs diese Untersuchungen unter dem Einflufs der Phlogistontheorie geführt wurden, ist durchaus nicht imstande, den Wert derselben zu beeinträchtigen, zumal Scheele wie kein anderer der neuen Theorie den Boden bereiten half. Gipfelt doch dasjenige, was er von der Luft und dem Feuer geschrieben, in der klaren Erkenntnis, dafs die erstere aus zwei verschiedenen Gasen zusammengesetzt ist, von denen nur der Sauerstoff, den er als „Feuerluft" bezeichnet, die Verbrennung und alle der Verbrennung analogen Erscheinungen unterhält. Scheele lehrt die Mittel kennen, um der Luft diesen wirksamen Bestandteil zu entziehen; er findet, dafs das zurückbleibende Gas, welches er als verdorbene Luft bezeichnet, etwa $^2/_3$ (in Wahrheit $^4/_5$) der gesamten Luft ausmacht. Letztere stellt er durch Zusammenmischen der beiden Komponenten mit allen ihren Eigenschaften wieder her. Dafs Scheele trotzdem nicht zum Verständnis der von ihm so musterhaft durchforschten Erscheinungen gelangte, liegt daran, dafs er nicht in hinreichendem Mafse die quantitativen Beziehungen, welche zwischen denselben obwalten, berücksichtigte. Sobald dies geschah, mufste bei der Stufe, auf welche die Chemie durch ihn und Priestley gelangt war, der Schleier, der die Wahrheit verhüllte, mit einemmale fallen. Es bedurfte, wie aus den im I. Bande wiedergegebenen Ausführungen Lavoisiers hervorgeht[1], hierzu keiner einzigen neuen Entdeckung, sondern nur der folgerichtigen Anwendung des Messens und des Wägens auf den bekannt gewordenen Verlauf der Erscheinungen.

Die Verschiedenheit in dem Verfahren Lavoisiers und Scheeles tritt am deutlichsten hervor, wo wir beide Forscher mit der Untersuchung desselben Gegenstandes beschäftigt finden. Während des 17. Jahrhunderts hatte sich insbesondere auf Grund eines durch van Helmont bekannt gegebenen Resultates[2] die

[1]) Siehe Bd. I, Seite 174.

[2]) Siehe Seite 181 ds. Bds.

Meinung gebildet, dafs sich Wasser in feste, erdige Substanzen verwandeln lasse. Im 18. Jahrhundert waren gewichtige Zweifel hiergegen laut geworden. Sowohl Scheele wie auch Lavoisier liefsen es sich angelegen sein, die Entscheidung auf dem Wege des Experiments herbeizuführen. „Ich gofs", sagt ersterer [1], ein halbes Lot destilliertes Schneewasser in einen kleinen gläsernen Kolben, der mit einem dünnen, eine Elle langen Halse versehen war, und verschlofs denselben mit einem genau passenden Kork. Darauf hing ich diesen Kolben über einer brennenden Lampe auf und unterhielt das Wasser zwölf Tage und Nächte in beständigem Kochen. Als es zwei Tage gekocht, hatte es ein etwas weifsliches Aussehen erhalten. Nach sechs Tagen war es wie Milch und am zwölften Tage schien es schon dick zu sein." Der Kolben zeigte sich auf seiner inneren Fläche, soweit das kochende Wasser gestanden hatte, korrodiert, und die das Wasser trübende, zum Teil darin gelöste Substanz enthielt, wie die qualitative Untersuchung ergab, die Bestandteile, welche das Glas zusammensetzen, nämlich Alkali, Kalk und Kieselsäure. „Konnte ich", fährt Scheele fort, „wohl länger zweifeln, dafs das Wasser durch das beständige Kochen das Glas zersetzen kann?" Die Erde, welche ich erhielt, war von nichts weniger als aus dem Wasser entstanden."

Ganz anders verfährt Lavoisier [2]) und gelangt dennoch zu dem gleichen Resultate. Ihm würde die qualitative Analyse der im Wasser befindlichen Substanz grofse Schwierigkeiten bereitet haben. Lavoisier bedarf einer solchen aber auch garnicht, sondern entscheidet die Frage auf rein quantitativem Wege. Er bringt Wasser in ein Glasgefäfs, wägt und verschliefst dasselbe und erhält den Inhalt etwa 100 Tage auf Siedewärme. Darauf zeigt es sich, dafs das entleerte Gefäfs gerade so viel an Gewicht verloren hat, wie die von dem Wasser gelöste und nach dem Verdampfen desselben zurückbleibende Substanz wiegt. Wie in diesem Falle, so verfuhr Lavoisier bei seinen sämtlichen Untersuchungen. Die qualitative Seite der von ihm studierten Vorgänge war meist durch die Arbeiten der Phlogistiker genügend bekannt geworden. Durch die Genauigkeit seiner Messungen und Wägungen, sowie durch die logische Schärfe der daran sich anschliefsenden Folgerungen verstand es Lavoisier, das verknüpfende Band zu finden und ein chemisches System, sowie eine Nomenklatur zu

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 58, Seite 5.
[2]) Lavoisier, Sur la nature de l'eau. Memoir. de Paris, 1770.

schaffen, welche die Einreihung und die Erklärung aller bekannten und später entdeckten Erscheinungen leicht ermöglichten. In gewissem Sinne erfüllte Lavoisier somit die Rolle, welche Linné auf dem Gebiete der beschreibenden Naturwissenschaften eingenommen hatte.

Antoine Laurent Lavoisier wurde am 26. August des Jahres 1743 zu Paris geboren. Sein Vater, welcher durch den Handel zu bedeutendem Vermögen gelangt war, besafs ein grofses Interesse für die Naturwissenschaften und liefs seinen Sohn durch ausgezeichnete Gelehrte in denselben unterrichten. Insbesondere interessierte den jungen Lavoisier, welcher auch eine vorzügliche mathematische Ausbildung erhielt, die Chemie in ihrer Anwendung auf das praktische Leben. Kaum 20 Jahre alt, löste er eine von der französischen Regierung gestellte technische Aufgabe. Grofsmütig überliefs er die ihm zugefallene Prämie seinen Mitbewerbern, um diesen die ihnen erwachsenen Unkosten zu ersetzen, und begnügte sich mit der gleichfalls an den Preis geknüpften Denkmünze. Mit 25 Jahren (1768) wurde Lavoisier Mitglied der Akademie der Wissenschaften. Bald darauf erhielt er die Stelle eines Generalpächters. Die hohen Einkünfte, welche mit derselben verbunden waren, verwandte er auf seine bedeutende Mittel erfordernden Experimentalarbeiten. Später übertrug man ihm die Verwaltung der Salpeter- und der Pulverfabriken, eine Stellung, für welche er seiner chemischen Kenntnisse und seines Scharfblickes in allen praktischen Dingen wegen hervorragend geeignet war.

Lavoisier hatte bei Boyle gelesen, dafs Blei und Zinn, wenn man sie in, mit Luft gefüllten, verschlossenen Glasgefäfsen erhitzt, unter Zunahme ihres Gewichtes in die entsprechenden Metallkalke übergehen. Da sich diese Erscheinung mit der herrschenden Theorie nicht wohl vereinigen liefs, fafste Lavoisier den Entschlufs, sie durch Versuche und deren vorurteilsfreie Deutung auf ihre wahre Ursache zurückzuführen. Er brachte eine abgewogene Menge Zinn in eine Retorte, verschlofs diese hermetisch und erhitzte, bis das Zinn verkalkt war. Wurde die Retorte nach dem Erkalten von neuem gewogen, so zeigte es sich, dafs ihr Gewicht dasselbe geblieben. Die Annahme Boyles, die Verkalkung bestehe darin, dafs ein hypothetischer Stoff die Wände der Retorte durchdringe und mit dem Metall eine Verbindung eingehe, erwies sich somit als unhaltbar. Nach dieser Feststellung wurde die Retorte geöffnet; jetzt drang Luft in dieselbe ein, und die Retorte besafs infolgedessen ein gröfseres

Gewicht. Die entstandene Zinnasche wurde nun gewogen und es zeigte sich, dafs der Zuwachs an Gewicht, welchen die Retorte durch das Eindringen der Luft erfahren, genau so grofs war, wie diejenige Zunahme, welche vorher das Zinn innerhalb der Retorte erlitt. Diese Versuche liefsen für die Verkalkung der Metalle keine andere Deutung zu, als dafs sich diese Stoffe unter entsprechender Vermehrung ihres Gewichtes mit der Luft verbinden. Im Jahre 1772 berichtete Lavoisier der Akademie über seine Ergebnisse. Die gewonnene Erkenntnis mufste jedoch unzulänglich bleiben, solange die Zusammensetzung der Atmosphäre nicht bekannt war. Erst als Priestley 1774 bei einem Besuche in Paris Lavoisier mit dem Sauerstoff und dessen Darstellung aus roter Quecksilberasche vertraut gemacht hatte, war dem französischen Forscher der Schlüssel zu dem vollen Verständnis seiner Versuche gegeben.

Bald darauf erschien denn auch eine Arbeit Lavoisiers, welche das Wesen der Verbrennung und der Reduktion in das klarste Licht stellte. Ersterer Vorgang, welcher der Verkalkung der Metalle analog ist, besteht danach in der Vereinigung des brennbaren Körpers mit dem einen, die Verbrennung unterhaltenden Bestandteil der Luft, der dephlogistisierten oder Feuerluft der früheren Chemiker, welche Lavoisier zunächst als reine Luft und später, nachdem er ihre Bedeutung für die Bildung der Säuren erkannt hatte, als Sauerstoff bezeichnete. Wie er diesen Sauerstoff durch tagelanges Erhitzen von Quecksilber der atmosphärischen Luft entzog und durch Glühen des entstandenen Oxyds nach dem Vorgange Priestleys darstellte, haben wir durch seine eigene im I. Bande wiedergegebene Darstellung erfahren[1]). Findet das Erhitzen des Quecksilberkalkes unter Zusatz von Kohle statt, so bildet sich an Stelle von Sauerstoff fixe Luft. Letztere, so folgert Lavoisier, kann also nur in der Vereinigung von Kohlenstoff und Sauerstoff bestehen. Dieser Schlufs findet eine weitere Bestätigung, indem Lavoisier beim Verbrennen von Holzkohle in Sauerstoff gleichfalls fixe Luft ($CO_2$) erhält. Dasselbe Gas trat auf, als er anstatt Holzkohle Diamant nahm, welcher vermittelst grofser Brennspiegel in einem mit Sauerstoff gefüllten Glasgefäfs entzündet wurde. Erst durch diese Abänderung des etwa 100 Jahre früher in Florenz gemachten Versuches war das Wesen jenes merkwürdigen Minerals erkannt; der Diamant war danach nichts

[1]) Siehe Bd. I, S. 174.

als krystallisierter Kohlenstoff. Eine andere merkwürdige Erscheinung, die man mit dem Florentiner Versuch garnicht in Einklang bringen konnte, die Erscheinung nämlich, dafs der Diamant in Kohlenpulver verpackt der gröfsten Hitze ausgesetzt werden kann, ohne sich zu verändern, fand jetzt gleichfalls ihre Erklärung. Der Diamant war eben eine unschmelzbare Substanz, welche durch die Hitze nicht etwa als solche verflüchtigt wird, sondern sich nur bei Gegenwart von Sauerstoff in eine gasförmige Verbindung, in fixe Luft oder Kohlendioxyd verwandelt.

Schon in einer insbesondere die Verkalkung betreffenden und an Boyle anknüpfenden quantitativen Arbeit vom Jahre 1772 hatte Lavoisier die Versuche auch auf Phosphor und Schwefel ausgedehnt und für diese Körper eine analoge, mit ihrer Verbrennung Hand in Hand gehende Vermehrung des Gewichtes festgestellt. Was lag näher, als diese Vermehrung gleichfalls auf eine Vereinigung mit dem Sauerstoff zurückzuführen? Lavoisier brachte deshalb in eine durch Quecksilber abgesperrte Luftmenge Phosphor, den er zum Teil verbrannte. Nach Beendigung dieser Verbrennung liefs sich der übrige Phosphor schmelzen und ins Sieden bringen, ohne dafs eine Entzündung eintrat. Letztere erfolgte erst, wenn von neuem Luft unter die Glocke, in welcher das Experiment vor sich ging, gelangt war. Da sich bei der Vereinigung von Phosphor und Schwefel mit Sauerstoff Phosphorsäure und schweflige Säure bilden, von denen die letztere durch weitere Oxydation in Schwefelsäure übergeht, wurde das bisher als reine Luft bezeichnete Gas als Säure bildendes Prinzip angesprochen.

Diese Ansicht, welche indes später, als man in der Salz- und in der Blausäure sauerstofffreie Verbindungen kennen lernte, eine wesentliche Einschränkung erfuhr, fand durch Lavoisiers Untersuchung der Salpetersäure[1]) eine wesentliche Stütze. Lavoisier löste eine abgewogene Menge Quecksilber in Salpetersäure ($HNO_3$) auf; dabei entwickelte sich das von Priestley als Salpeterluft ($NO_2$) bezeichnete Gas. Wurde die nach dem Eindampfen erhaltene Verbindung ($Hg[NO_3]_2$) erhitzt, so fand eine weitere Entwicklung von Salpeterluft statt, und es blieb rotes Quecksilberoxyd zurück[2]), welches beim Glühen in Sauerstoff und ein der angewandten Menge gleiches Quantum Quecksilber zerfiel. Da das Quecksilber völlig wieder erhalten wurde, konnten der Sauerstoff und die Salpeterluft

---

[1]) Sur l'existence de l'air dans l'acide nitreux. Mém. de Paris. 1776.
[2]) $Hg(NO_3)_2 = HgO + 2\,NO_2 + O$.



nur der Salpetersäure entstammen. Durch die Vereinigung dieser beiden Gase mit Wasser gelang es Lavoisier, auch die Salpetersäure wiederherzustellen und so durch die Synthese seinen Schlüssen doppeltes Gewicht zu verleihen. Völlig aufgeklärt wurde dann die chemische Natur der Salpetersäure durch das Hinzutreten einer wichtigen, von dem Phlogistiker Cavendish herrührenden Entdeckung. Ausgehend von Priestleys Beobachtung, dafs die Luft durch fortgesetzte Einwirkung des elektrischen Funkens eine chemische Veränderung erleidet, zeigte Cavendish, dafs sich hierbei die Gemengteile der Luft zu Salpetersäure verbinden[1]). Durch diesen synthetischen Versuch und die von Lavoisier herrührende Analyse war die hinsichtlich der Salpetersäure gestellte Aufgabe gelöst. Lavoisier wies ferner darauf hin, dafs der durch Sättigen von Salpetersäure mit Alkali erhaltene Salpeter gleichfalls Sauerstoff enthält, da sich beim Erhitzen von Salpeter mit Kohle fixe Luft ($CO_2$) entwickle.

Wie die Verbrennung, so wurde durch die neue Theorie auch die Atmung in das rechte Licht gestellt. Diese besteht danach in der Verbindung von Sauerstoff mit den Bestandteilen der organischen Substanz. Wie bei der Verbrennung, so wird auch hierbei Wärme entwickelt. In dem wesentlichsten Produkte der Atmung, dem Kohlendioxyd, stammt der Kohlenstoff aus dem Organismus, der Sauerstoff dagegen aus der Atmosphäre. Die Analogie zwischen beiden Vorgängen wird von Lavoisier auch daraus erschlossen, dafs Kohlendioxyd neben Wasser auch bei der Verbrennung organischer Substanzen entsteht. Indem Lavoisier weiter aus der Menge dieser beiden neu auftretenden Verbindungen den Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt der verbrannten Substanz ermittelt, wird er zum Begründer der Elementaranalyse. Den Prozefs der Gährung fafste er ganz richtig als den Zerfall einer ternären, d. h. einer aus drei Elementen (C, H und O) bestehenden organischen Verbindung, des Zuckers nämlich, in den neben Kohlen- und Wasserstoff eine relativ geringere Menge Sauerstoff enthaltenden Alkohol und das binäre an Sauerstoff reiche Kohlendioxyd auf. Liefse sich eine Synthese des Alkohols mit dem Kohlendioxyd bewirken, so müfste sich, wie er ganz richtig ausführt, wieder Zucker ergeben.

[1]) Cavendish, welcher die entstandene Salpetersäure durch Kalilauge absorbieren liefs, bemerkte, dafs ein nicht absorbierbarer Rest hinterbleibt, eine Thatsache, welche erst 1894 durch die Entdeckung des Argons ihre Erklärung fand.

Lavoisiers weiteres Bemühen war darauf gerichtet, in konsequentem Verfolg seiner Methode für die von ihm untersuchten Substanzen das Gewichtsverhältnis ihrer Bestandteile festzustellen, soweit ihm dies seine unvollkommenen Mittel erlaubten. So bestimmt er die quantitative Zusammensetzung des Kohlendioxyds, indem er eine abgewogene Menge Kohle vermittelst Mennige oxydiert. Aus dem Gewichtsverlust, den die Mennige dabei erleidet, berechnet er für Kohlendioxyd 72,1 % Sauerstoff, ein Ergebnis, welches dem wahren Wert (72,7 %) ziemlich nahe kommt.

Zu Beginn der 80er Jahre gelangte Lavoisier durch seine eigenen und die von Cavendish geführten Untersuchungen auch über die Natur des Wassers vollkommen ins Reine. Cavendish hatte 1781 den Nachweis geliefert, dafs sich bei der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff ausschliefslich Wasser bildet, wobei sich 100 Raumteile des letzteren Gases mit 201,5 Raumteilen Wasserstoff verbänden. Erst viel später erkannte man, dafs das einfache Verhältnis 100:200 obwaltet. Auf diese Synthese liefs Lavoisier die Analyse des Wassers folgen, indem er Dampf durch eine Röhre leitete, in der sich glühendes Eisen befand, ein Metall, das dabei unter Freiwerden von Wasserstoff oxydiert wird. Die Zersetzung von 100 Gewichtsteilen Wasser ergab eine durch den Sauerstoff des letzteren bewirkte Zunahme des Eisens um 85 Teile, während 15 Teile Wasserstoff aufgefangen wurden, ein Resultat, welches von der Wahrheit erheblich abwich, da spätere Versuche für die Elemente des Wassers das Verhältnis 89 : 11 ergeben haben.

In der Mitte der 80er Jahre stand die antiphlogistische Theorie, deren Entwicklung wir in Vorstehendem kennen gelernt haben, in ihren Grundzügen vollendet da. Einige Jahre später erfuhr sie durch Lavoisier eine lichtvolle Darstellung, mit welcher der Leser durch den 30. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist. Alles Bemühen, die Phlogistontheorie zu retten, war vergeblich; sie wurde mit Scheele und Priestley zu Grabe getragen. Indes sollte Lavoisier die allgemeine Anerkennung der neuen Lehre, gegen welche man sich auch in Deutschland anfangs sträubte, nicht mehr erleben[1]). Das Jahr, in welchem sein soeben

[1]) G. W. a. Kahlbaum und A. Hoffmann: Die Einführung der Lavoisierschen Theorie im besonderen in Deutschland (Monographieen aus der Geschichte der Chemie. I. Heft. Leipzig, 1897). Danach ist die Annahme, dafs Deutschland sich länger als die übrigen Länder gegen die Annahme der Lehren Lavoisiers verschlossen habe, nicht gerechtfertigt.



erwähntes Lehrbuch erschien, war auch das Geburtsjahr der französischen Revolution. Die konstituierende Nationalversammlung hatte noch Lavoisiers Dienste in Anspruch genommen; während der Schreckenszeit erinnerte man sich aber der einflufsreichen Stellung, die er unter dem Königtum bekleidet hatte, und verurteilte ihn auf die nichtige Anklage hin, dafs die von ihm verwaltete Regie den Tabak verschlechtert habe, zum Tode. Als ein Freund den Mut besafs, den Richtern gegenüber Lavoisiers Verdienste um die Wissenschaft hervorzuheben, erhielt er die für den tollen Geist des Aufruhrs charakteristische Antwort: „Nous n'avons plus besoin des savants.“ So starb denn Lavoisier gefafst und ruhig am 8. Mai des Jahres 1794.

Der Einflufs, welchen die von ihm geschaffenen Lehren und Methoden auf die weitere Entwicklung der Chemie ausgeübt haben, ist ein gewaltiger gewesen. Diese Wissenschaft tritt jetzt der Astronomie und der Physik, die gleichfalls ihr Emporblühen der Befolgung des quantitativen Verfahrens verdankten, als ebenbürtig an die Seite. Mit dem Auftreten Lavoisiers gelangte ferner ein Grundsatz zu allgemeiner Anerkennung, der für das quantitative Verfahren eine unerläfsliche Vorbedingung bildet. Es ist dies der Satz, dafs bei chemischen Vorgängen nichts entsteht und nichts vergeht, sondern die Summe der in den Prozefs eintretenden Materien eine konstante Gröfse ist. Gegen diesen Satz, der fast selbstverständlich zu sein scheint, und dennoch das Ergebnis der Erfahrung ist, wurde sogar von hervorragenden Chemikern des 18. Jahrhunderts noch gefehlt.

Mit gleicher Schärfe erfafste Lavoisier den von Boyle herrührenden Begriff des chemischen Elementes. Er versteht darunter sämtliche Substanzen, welche nicht in einfachere zerlegt werden können. Als Elemente in diesem Sinne gelten ihm die damals allein bekannten schweren Metalle und die als Metalloide bezeichneten Körper, nämlich Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor. Die Alkalien[1]) und die Erden[2]) hätten der gegebenen Definition gemäfs zwar auch als Elemente betrachtet werden müssen, doch spricht Lavoisier die Vermutung aus, dafs diese in mancher Hinsicht den Metallkalken ähnlichen Substanzen, wie die letzteren, Verbindungen bisher unbekannter Elemente mit Sauerstoff seien, eine Vermutung, welche durch die

1) $K_2O$, $Na_2O$.
2) $CaO$. $MgO$. $BaO$, $Al_2O_3$.

späteren elektrochemischen Forschungen eine glänzende Bestätigung erhielt.

Als Lavoisier und Cavendish die Mengenverhältnisse, nach denen die Elemente zu chemischen Verbindungen zusammentreten, in den Bereich ihrer Untersuchung zogen, machten sie schon stillschweigend die Voraussetzung, dafs diese Verhältnisse für scharf charakterisierte Verbindungen konstante Gröfsen seien. Das Quantitative konnte ja nur dann die Grundlage für die weitere Entwicklung der Chemie abgeben, wenn es die Bedeutung eines Naturgesetzes besafs. Demnach mufste die erste Aufgabe eines neuen Zeitalters in dem Nachweis bestehen, dafs dies der Fall sei. Daran knüpfte sich dann weiter der Versuch einer Erklärung der chemischen Vorgänge und der bei diesen auftretenden Gesetzmäfsigkeiten.

Um den Nachweis des Gesetzes von der Konstanz der Gewichtsverhältnisse hat sich der Franzose Proust[1]) sehr verdient gemacht. Ihm gelang es, die entgegengesetzte von seinem Landsmann Berthollet[2]) vertretene Ansicht, dafs die Elemente in stetig veränderlichen, von den äufseren Umständen abhängigen Verhältnissen sich verbinden, nach langem Streite und auf Grund zahlreicher Analysen zu widerlegen. Die Ansicht Berthollets, dafs zwischen zwei Verbindungen, wie sie z. B. Schwefel und Eisen ($FeS$, $FeS_2$) oder Zinn und Sauerstoff ($SnO$, $SnO_2$) bilden, alle Übergänge möglich seien, liefs Proust nicht gelten. Er führte diesen Irrtum darauf zurück, dafs Berthollet anstatt der vermeintlichen Übergangsstadien Gemenge jener Verbindungen unter der Hand gehabt habe und lieferte den Nachweis, dafs, wenn zwischen zwei Elementen mehrere Verbindungen existieren, die Änderung in der Zusammensetzung nie allmählich, sondern stets sprungweise erfolgt. Geht z. B. Zinnoxydul, welches 11,9 % Sauerstoff enthält, durch weitere Aufnahme dieses Elementes in Zinnoxyd über, so erfolgt dieser Übergang durch einen Sprung auf eine andere fest bestimmte Menge Sauerstoff, nämlich auf 21,3 %. Dasselbe Verhalten zeigten auch Metalle, welche sich in mehreren Verhältnissen mit Schwefel verbinden. Proust dehnte seine Untersuchung auch auf die Verbindungen von Kupfer, Eisen, Nickel, Antimon, Gold, Silber, Quecksilber, sowie auf die organischen Substanzen aus. Für alle in Betracht gezogenen Fälle ergab sich das Vorhandensein jener von

[1]) Joseph Louis Proust; 1755—1826.

[2]) Claude Louis Berthollet; 1748—1822.

ihm behaupteten Gesetzmäfsigkeit. Für die Vereinigung von Säuren und Basen unter Bildung von Salzen war die Konstanz der Gewichtsverhältnisse schon vor Proust durch den deutschen Chemiker Richter[1]) nachgewiesen worden; doch war die Arbeit dieses Mannes insbesondere ihrer dunklen Ausdrucksweise wegen zunächst fast unbeachtet geblieben. Ihre Fortsetzung und Erweiterung fanden die von Proust begonnenen Untersuchungen durch Dalton, mit dessen Hauptwerk, dem „Neuen System der chemischen Wissenschaft", der Leser schon durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden ist[2]).

John Dalton wurde im Jahre 1766 als Sohn eines armen englischen Webers geboren. Nachdem er die Schule verlassen, erteilte er vom 13. Lebensjahre an in seinem Heimatsorte Elementarunterricht. Es gelang ihm jedoch sich soweit fortzubilden, dafs er mit 27 Jahren eine Stelle als Lehrer der Mathematik und der Physik an einem College zu Manchester einnehmen konnte. Später gab er diese Stellung auf und erwarb sich seinen Unterhalt, indem er in den gröfseren Städten Englands Vorlesungen hielt. Äufsere Ehren hat Dalton nicht gesucht. Selbst als sein Ruhm weit über die Grenzen seines Vaterlandes hinausgedrungen war, blieb er der bescheidene Privatgelehrte, der in dem Forschen nach der Wahrheit seine gröfste Befriedigung fand. Dalton starb im Jahre 1844 zu Manchester.

Proust hatte bei seinen Analysen der verschiedenen Oxydations- und Schwefelungsstufen eines und desselben Elementes die Resultate in Prozenten angegeben. Vergleicht man die so erhaltenen Zahlen (z. B. für die oben erwähnten Oxyde des Zinns), so lassen dieselben keine einfache Beziehung erkennen. Dalton, welcher den Nachweis der konstanten Gewichtsverhältnisse insbesondere auf gasförmige Verbindungen auszudehnen strebte, kam auf den glücklichen Gedanken, die Resultate für gleiche Gewichtsmengen des mit Sauerstoff verbundenen Elementes zu berechnen. So würden sich für die Oxyde des Zinns auf 100 Gewichtsteile dieses Elementes 13,5 beziehungsweise 27 Gewichtsteile Sauerstoff, oder für die Oxyde des Stickstoffs, mit welchen Dalton sich vorzugsweise beschäftigte, auf 14 Gewichtsteile Stickstoff 8, 16, 24, 32, 40 Gewichtsteile des anderen Elementes ergeben. Indem Dalton diese Mengen verglich, entdeckte er eines der wichtigsten Gesetze der Chemie. Es zeigt

[1]) Jeremias Benjamin Richter (1762—1807) in seinen Anfangsgründen der Stöchiometrie. 1792.

[2]) Siehe Bd. I, Seite 228, Anm. 2.



sich nämlich, dafs die Gewichtsmengen Sauerstoff, welche mit einer bestimmten Menge Zinn oder Stickstoff zu Oxyden zusammentreten, in einem einfachen Verhältnis stehen. Diese Mengen verhalten sich nämlich wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5. Oder die in die höheren Oxydationsstufen eingehenden Quantitäten sind einfache Multipla derjenigen Menge, welche in der niedersten Oxydationsstufe enthalten ist. Dalton hat diese Untersuchungen, welche um das Jahr 1802 stattfanden, mit demselben Ergebnisse auf die Oxyde des Kohlenstoffs[1]), sowie auf die Verbindungen des letzteren Elementes mit Wasserstoff ausgedehnt.

An die Entdeckung wichtiger Gesetze hat sich jederzeit das Bemühen geknüpft, eine Vorstellung über die Natur der Dinge zu gewinnen, welche mit den entdeckten Regeln soweit in Einklang steht, dafs letztere als eine notwendige Folge jener Vorstellung erscheinen. Diesen wichtigen Schritt auf der Bahn der Erkenntnis an die Auffindung des Gesetzes von den Multiplen angeschlossen zu haben, ist gleichfalls das unsterbliche Verdienst Daltons, welcher dadurch die Grundlage aller seitherigen naturwissenschaftlichen Betrachtung schuf.

Nach Daltons Vorstellung besteht jeder Körper aus äufserst kleinen Teilchen, und zwar sind diese Teilchen für jeden homogenen Stoff, z. B. für Wasserstoff, Wasser u. s. w. in allen ihren Eigenschaften, also auch in Bezug auf ihr Gewicht, völlig gleich. Das letztere nach seiner absoluten Gröfse zu bestimmen, ist Dalton zwar nicht in der Lage; wohl aber vermag er auf Grund gewisser Annahmen die verhältnismäfsige Schwere der kleinsten Teilchen zu ermitteln. Giebt es z. B. zwischen zwei Stoffen nur eine chemische Verbindung, so besteht die einfachste Annahme darin, dafs sich dieselbe durch Aneinanderlagerung von je einem Atom des einen und je einem Atom des anderen Elementes gebildet habe. In diesem Falle würde das Mengenverhältnis mit dem relativen Gewicht der Atome, welches Dalton sucht, übereinstimmen. Nach ihm trifft jene Voraussetzung z. B. für Wasser und Ammoniak zu; es war nämlich damals nur eine Wasserstoffverbindung des Sauerstoffs, sowie des Stickstoffs bekannt. Unter der Annahme nun, dafs diese Verbindungen sich durch Aneinanderlagerung von je zwei Teilchen der betreffenden Elemente bilden, ergab sich das Atomgewicht des Sauerstoffs = 7 und dasjenige des Stickstoffs = 5[2]). Genauere Analysen würden die Werte 8

[1]) Siehe Bd. I, Seite 231.

[2]) Siehe die Tabelle in „Ostwalds Klassiker“ Nr. 3, Seite 18.

und 4,6 geliefert haben. Wir bezeichnen diese Mengen, welche einem Teil Wasserstoff entsprechen, als Äquivalentgewichte. Sie ergeben erst mit der Valenz der betreffenden Elemente multipliziert die Atomgewichte. So ist das Atomgewicht des zweiwertigen Sauerstoffs 16 ($2 \times 8$) und dasjenige des dreiwertigen Stickstoffs 14 ($3 \times 4{,}6$).

Wie das Gesetz von der Konstanz der Gewichtsverhältnisse, so erscheint auch das Gesetz von den Multiplen als eine Folge der atomistischen Hypothese. Giebt es nämlich zwischen zwei Elementen mehrere Verbindungen, so wird man annehmen dürfen, dafs sich je ein Atom des ersten Elementes mit je einem, zwei, drei Atomen des zweiten vereinigt. Die zweite Verbindung mufs dann, weil ja die Atome unter sich gleich schwer sind, in Bezug auf die unverändert gebliebene Menge des ersten Elementes die zweifache, die dritte Verbindung dagegen die dreifache Gewichtsmenge des zweiten Elementes besitzen.

Nachdem die atomistische Hypothese Geltung gefunden, bestand die nächste Aufgabe der Experimentalchemie in einer möglichst genauen Bestimmung der Äquivalente. Eine solche mufste nicht nur für die Analyse von der gröfsten Wichtigkeit sein, sondern auch die Grundlage für alle weiteren Spekulationen bilden. Galt es doch, die Frage zu entscheiden, ob die erhaltenen Zahlen die wahren relativen Gewichte der Atome seien, und ob ferner, dies vorausgesetzt, sich einfache Beziehungen zwischen den Atomgewichten ergeben würden.

Spekulationen, die sich nicht auf eine hinreichend sichere exakte Grundlage stützen, haben sich fast immer als übereilt erwiesen. Dies lehrt auch die weitere Entwicklung der Atomtheorie. Vergleicht man die von Dalton 1803 veröffentlichte Tabelle mit der später in seinem „neuen Systeme" mitgeteilten, so mufs auffallen, dafs die hier gegebenen Atomgewichte durchweg ganze Zahlen sind, während die Tabelle vom Jahre 1803, abgesehen von dem als Einheit geltenden Atomgewicht des Wasserstoffs, solche überhaupt nicht enthält. Diesen Abrundungen wurde nun durch den Engländer Prout, der sich um die Experimentalchemie kaum verdient gemacht hat, eine reale Bedeutung beigelegt. Prout nahm an, dafs die wahren Atomgewichte ganze Zahlen und die Abweichungen, welche die Analyse ergiebt, auf Fehler zurückzuführen seien. Auf Grund dieser irrigen Voraussetzung, welche lediglich aus der weitgehenden Unsicherheit der analytischen Ergebnisse entsprang, führte Prout nun sämtliche Elemente auf den

Wasserstoff als Urmaterie zurück. Die Atome der Grundstoffe sollten sich durch Aneinanderlagerung einer verschieden grofsen Zahl von Wasserstoffatomen gebildet haben, woraus dann notwendig folgen würde, dafs die Atomgewichte einfache Multipla desjenigen des Wasserstoffs sind. Diese Hypothese Prouts, in der man zuerst das wahre Grundgesetz der Chemie erblicken wollte. liefs sich mit den späteren Ergebnissen der Analyse jedoch nicht vereinigen. Sie hat aber das Gute im Gefolge gehabt, dafs sie zu immer schärferen Bestimmungen der Atomgewichte anregte. Der Mann, welcher sich dieser Aufgabe insbesondere unterzog, weil er erkannte, dafs über den Wert oder Unwert einer Hypothese nur die Thatsachen entscheiden, war Berzelius.

Johann Jakob Berzelius wurde am 29. August des Jahres 1779 als Sohn eines Lehrers in Schweden geboren und studierte in Upsala Medizin und Chemie. Seine ersten Arbeiten betrafen die Analyse einer Heilquelle und die Wirkung der damals soeben entdeckten galvanischen Elektricität auf chemische Verbindungen. Seit dem Jahre 1801 bekleidete Berzelius eine Lehrstelle für Chemie und Pharmacie an der medizinischen Schule zu Stockholm. Einige Jahre später wurde er zum Präsidenten der dortigen Akademie der Wissenschaften ernannt. Berzelius starb am 7. August des Jahres 1848.

Seine Verdienste um die weitere Entwicklung der Chemie und Mineralogie sind ganz hervorragend, müssen aber zum Teil an anderer Stelle betrachtet werden. Hier interessiert nur seine Mitarbeit an dem Ausbau der Atomtheorie, in deren experimenteller Begründung Berzelius seine Lebensaufgabe erblickte. „Ich überzeugte mich bald durch neue Versuche,“ sagt er[1]), „dafs Daltons Zahlen die Genauigkeit fehlte, die für die praktische Anwendung seiner Theorie erforderlich war. Ich erkannte nun, dafs zuerst die Atomgewichte einer möglichst grofsen Zahl von Grundstoffen. vor allem der gewöhnlichen, mit möglichster Genauigkeit ausgemittelt werden müfsten. Ohne eine solche Arbeit konnte auf die Morgenröte kein Tag folgen. Es war dies also damals der wichtigste Gegenstand der chemischen Forschung und ich widmete mich ihm in rastloser Arbeit. Nach zehnjährigen Mühen konnte ich im Jahre 1818 eine Tabelle herausgeben, welche nach meinen Versuchen berechnete Atomgewichte und Angaben über die Zusammensetzung von etwa 2000 Verbindungen enthält.“

[1]) Berzelius, Lehrbuch der Chemie, Bd. III, 1161. 5. Aufl.

Einige Werte aus dieser Tabelle mögen dem Leser einen Begriff von der Genauigkeit der Berzelius'schen Untersuchungen geben.

| | | |
|---|---|---|
| Kohlenstoff | 12,12 | (11,97), |
| Sauerstoff | 16,00 | (15,96), |
| Schwefel | 32,3 | (31,98). |

Das wichtigste Ergebnis, welches aus zahlreichen Verbesserungen der bestehenden, sowie der Erfindung mancher neuen analytischen Methode hervorging, war die Bestätigung des Gesetzes von den multiplen Proportionen und der Nachweis, dafs die Prout'sche Hypothese sich nicht mit den Thatsachen vereinigen läfst. Durch das in vorstehendem betrachtete Lebenswerk eines Priestley, Scheele, Lavoisier, Dalton und Berzelius hatte die Chemie im Verlauf von wenigen Decennien eine neue Gestalt und eine sichere Grundlage für alle weiteren Forschungen gewonnen; sie war der Physik als ebenbürtig an die Seite getreten. Auch hatten die Beziehungen zwischen diesen beiden Wissenschaften eine stete Vermehrung gefunden, insbesondere seitdem man die Elektricität als chemisch wirksames Agens kennen gelernt hatte. Bevor wir den weiteren Verlauf der chemisch-physikalischen Forschung betrachten, ist es deshalb erforderlich, die mit der Begründung des antiphlogistischen Systems und der Aufstellung der Atomtheorie zusammenfallende grofsartige Erweiterung, welche die Elektricitätslehre durch Galvani und Volta erfuhr, ins Auge zu fassen.

## 2. Die Entdeckung der galvanischen Elektricität und ihrer hauptsächlichsten Wirkungen.

Neben der seit alters bekannten Elektricitätserregung durch Reibung hatte das 18. Jahrhundert, wie wir sahen, das Auftreten von Elektricität durch Wärmezufuhr, sowie infolge atmosphärischer Vorgänge kennen gelernt; auch hatte man die elektrische Natur der von dem Zitterrochen ausgehenden Wirkung entdeckt. Zu diesen vier Arten gesellte sich jetzt eine fünfte, die Berührungs- oder die galvanische Elektricität, mit der man gegen den Schlufs des 18. Jahrhunderts bekannt wurde, während der Ausbau der Lehre vom Galvanismus wohl als die wichtigste That des neunzehnten Jahrhunderts anzusehen ist.

Dafs die blofse Berührung zweier Metalle eine eigentümliche, später als elektrisch erkannte Wirkung hervorruft, wurde zum

erstenmale um das Jahr 1750 von einem Deutschen Namens Sulzer[1]) beobachtet. Dieser brachte die Spitze seiner Zunge zwischen ein Stück Blei und ein Stück Silber, die sich mit ihren Rändern berührten. Dabei nahm er eine an den Geschmack des Eisenvitriols erinnernde Empfindung wahr, welche Blei oder Silber für sich nicht hervorzubringen vermögen[2]). Es sei doch nicht wahrscheinlich, meint Sulzer, dafs bei der Berührung jener beiden Metalle eine Auflösung vor sich gehe. Man müsse vielmehr schliefsen, dafs diese Vereinigung eine zitternde Bewegung der Teilchen verursache, welche die Nerven der Zunge anrege und dadurch den erwähnten Geschmack hervorbringe.

Da die Beobachtung Sulzers ganz vereinzelt blieb, ging es ihr, wie es in solchen Fällen immer zu gehen pflegt, sie wurde nicht beachtet und schliefslich vergessen, bis die weitere Entwicklung der Wissenschaft ein Zurückgreifen auf jene Entdeckung erforderlich machte. Die eigentliche Erforschung der Berührungselektricität beginnt mit der zufällig gemachten Beobachtung, dafs ein frisch präparierter Froschschenkel jedesmal in Zuckungen gerät, wenn in seiner Nähe eine elektrische Entladung stattfindet. Galvani hatte, wie dem Leser durch die eigene Darstellung dieses Forschers[3]) bekannt geworden ist, jenes Verhalten des Froschschenkels um das Jahr 1780 kennen gelernt. Dafs an toten Tieren Zuckungen der Muskeln unter dem Einflufs von elektrischen Entladungen eintreten, war zwar längst bekannt; auch hatte man bemerkt, dafs ein Zitterrochen leblose Fische zu Bewegungen veranlafst. Was Galvanis Erstaunen hervorrief, war der Umstand, dafs jene Zuckungen eintraten, ohne dafs eine Verbindung zwischen der Elektrisiermaschine und dem Froschpräparat vorhanden war. Wir haben es in dieser Erscheinung noch nicht mit einer Wirkung der Berührungselektricität zu thun, sondern mit einem sogenannten Rückschlag, welcher darin besteht, dafs die infolge des Ladens der Maschine in dem Schenkel stattfindende elektrische Verteilung in dem Augenblicke des Entladens eine Änderung erfährt. Die elektrische Verteilung, sowie der Ausgleich derselben tritt bei gröfserer Entfernung von dem Konduktor der Elektrisiermaschine nur dann in hinreichendem Mafse ein, wenn

---

[1]) Johann Georg Sulzer (1720—1779), Professor der Mathematik am Joachimsthal'schen Gymnasium in Berlin.

[2]) Sulzer, Theorie der angenehmen und unangenehmen Geschmacksempfindungen, Berlin 1762. (Zuerst in den Mém. de Berlin 1751/52.)

[3]) Siehe Band I, Abschnitt 32.

der Schenkel mit der Erde in leitender Verbindung steht, was bei dem Versuch Galvanis durch eine anfangs zufällige, nachher jedoch absichtlich herbeigeführte Berührung des Schenkels mit einem leitenden Gegenstand [1]) bewirkt wurde. Das Erstaunen, in welches Galvani über seine Beobachtung geriet, ist der erste Schritt zu einer fast endlosen Reihe der wichtigsten Entdeckungen gewesen. „Ich wurde“, sagt er [2]), „von einem unglaublichen Eifer entflammt, dasjenige ans Licht zu ziehen, was unter dieser Erscheinung verborgen war.“ Bevor wir jedoch Galvani auf seinem Wege folgen, wollen wir uns einige Augenblicke mit dem Leben dieses Mannes beschäftigen, dessen Glück und Verdienst der Wissenschaft ein neues, grofses Gebiet erschliefsen sollte.

Aloisio Galvani wurde am 9. September 1737 zu Bologna geboren. Er studierte an der Universität seiner Vaterstadt Medizin und heiratete die Tochter eines der dortigen Professoren, welcher legendenhafte Berichte einen hervorragenden, wenn nicht gar den Hauptanteil an der Entdeckung des Galvanismus zugeschrieben haben [3]). Die ersten wissenschaftlichen Arbeiten Galvanis betrafen das Gebiet der Anatomie. Seit dem Jahre 1775 sehen wir ihn in Bologna eine Professur für dieses Fach bekleiden. Seine Versuche über die Wirkung der Elektricität auf Froschschenkel begannen im Jahre 1780. Galvani führte darüber zunächst nur ein Tagebuch. Erst ein Dezennium später vereinigte er die Ergebnisse seiner Untersuchung zu einer Abhandlung, mit welcher der Leser durch die Lektüre des I. Bandes bereits bekannt geworden ist [4]).

Nachdem Galvani die Wirkung des Entladens auf einen in der Nähe der Elektrisiermaschine befindlichen Froschschenkel

---

1) Siehe Bd. I, Seite 190.

2) Siehe Bd. I, Seite 189.

3) In einem von Alibert, dem Biographen Galvanis (Alibert, Éloge de Galvani, Paris, 1806) mitgeteilten Sonett lautet die zweite Strophe in der von Emil Dubois Reymond herrührenden Übersetzung:

War sie es nicht, die neue Lebenstriebe
In hautentblöfster Frösche Gliedern fand,
Wenn hier der Nerven wunderbar Getriebe,
Dort funkensprüh'nden Leiter traf die Hand.

4) Band I, Seite 188. Galvanis Schrift führt den Titel: De viribus electricitatis in motu musculari commentatio. 1791. Sie erschien neuerdings unter dem Titel: Abhandlung über die Kräfte der Elektricität bei der Muskelbewegung, herausgegeben von A. J. v. Oettingen, als 52. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894.

kennen gelernt, suchte er zunächst festzustellen, ob sich das gleiche, ihm ganz unerklärliche Phänomen auch durch den Einflufs der atmosphärischen Elektricität hervorrufen lasse. Die hierauf bezüglichen Versuche werden im 2. Teile jener Abhandlung vom Jahre 1791 beschrieben[1]). Die präparierten Frösche, sowie Schenkel von Warmblütern wurden bei einem Gewitter an den Nerven aufgehängt, während ein Eisendraht die Füfse mit der Erde verband. Die erwartete Wirkung blieb nicht aus; in demselben Augenblick, in welchem der Schein eines Blitzes das Auge traf, gerieten die Muskeln in lebhafte Zuckungen, welche die darauf folgenden Donnerschläge gleichsam anzukündigen schienen.

„Nachdem wir die Kräfte der Gewitterelektricität kennen gelernt hatten, brannte unser Herz vor Begierde, auch die Macht der täglichen ruhigen Elektricität der Atmosphäre zu erforschen.“ Mit diesen Worten beginnt Galvani den dritten Teil seiner Schrift, in welchem wir mit den Erscheinungen einer ganz neuen Art der Elektricitätserregung bekannt gemacht werden. Galvani hatte zum Nachweise der nach seiner Vermutung auch bei ruhigem Himmel vor sich gehenden Änderungen der atmosphärischen Elektricität Froschschenkel vermittelst Messinghaken an einem eisernen Gitter aufgehängt. Die erwarteten Zuckungen blieben zunächst aus; sie stellten sich erst ein, als Galvani, ungeduldig geworden, sich mit den Schenkeln zu schaffen machte, und letztere dabei mit dem Eisen in Berührung kamen. Galvani erkannte sofort, dafs ihm hier ein ganz neues unerwartetes Phänomen begegnete, das mit den Änderungen der atmosphärischen Elektricität in gar keinem Zusammenhange steht. Er wiederholte daher den Versuch in seinem Zimmer, indem er den Frosch auf eine Eisenplatte legte und gegen diese den durch das Rückenmark gehenden Haken drückte. Dabei gerieten die Muskeln jedesmal in Zuckung. Galvani änderte jetzt den Versuch in der Weise ab, dafs er den Frosch auf eine die Elektricität nicht leitende Glasplatte legte und den Messinghaken vermittelst eines Bogens mit den Füfsen des Tieres verband. Bestand der Bogen aus Metall, so traten Zuckungen ein, welche dagegen bei Anwendung einer nicht leitenden Substanz ausblieben. Mit den von Galvani ersonnenen Modifikationen dieses Fundamentalversuches ist der Leser bereits durch die im I. Bande wiedergegebene Darstellung[2]) und die an jener

[1]) Siehe Bd. I dieses Grundrisses, Seite 191.
[2]) Siehe Bd. I, Seite 193.



Stelle reproduzierte Figur bekannt geworden. Für die merkwürdige Erscheinung selbst gab es nur zwei Erklärungen. Entweder war sie in dem Wesen des tierischen Organismus begründet, oder es handelte sich um einen auf die Berührung der Metalle zurückzuführenden elektrischen Vorgang, bei dem der Froschschenkel nur die Rolle eines empfindlichen Elektroskopes spielte. Galvani entschied sich für die erstere Ansicht, indem er die beschriebenen Erscheinungen als Bethätigungen einer tierischen Elektricität auffafste. Diese sollte vom Gehirn aus durch die Nerven den Muskeln zufliefsen. Letztere verglich er mit der Leydener Flasche, indem er sich vorstellte, dafs die Oberfläche und das Innere der Muskeln entgegengesetzt geladen seien. Brachte man demgemäfs den Nerven als den Konduktor dieser Flasche mit der Oberfläche der Muskeln, welche dem äufseren Belag entsprechen sollte, in leitende Verbindung, so fand eine Entladung statt, als deren Folge die Zusammenziehung der Muskelsubstanz aufgefafst wurde.

Begreiflicherweise erregten Galvanis wunderbare Versuche und seine Theorie, die zunächst allgemeine Anerkennung fand, das gröfste Aufsehen. „Der Sturm, den das Erscheinen von Galvanis Abhandlung in der Welt der Physiker, der Physiologen und Ärzte erregte“, sagt ein hervorragender Geschichtsschreiber des Galvanismus[1]), „kann nur mit demjenigen verglichen werden, der zur selben Zeit am politischen Horizont Europas heraufzog. Wo es Frösche gab, und wo sich zwei Stücke ungleichartigen Metalls erschwingen liefsen, wollte jedermann sich von der wunderbaren Wiederbelebung der verstümmelten Gliedmafsen durch den Augenschein überzeugen.“

Galvanis wissenschaftliche Thätigkeit hatte mit dem Erscheinen seiner „Abhandlung über die Kräfte der Elektricität“ ihren Höhepunkt erreicht. Die Führung auf dem neu erschlossenen Gebiete übernahm jetzt Alessandro Volta, während sich Galvani wesentlich darauf beschränkte, seine Theorie gegen die ihr von Volta bereiteten Angriffe zu verteidigen. Die letzten Lebensjahre verbrachte er im Zustande tiefster Niedergeschlagenheit, welche der Tod der Gattin und seine Amtsentsetzung herbeigeführt hatten. Letztere erfolgte, weil er sich weigerte, den bei der Gründung der cisalpinischen Republik von ihm geforderten, seiner Überzeugung zuwiderlaufenden Eid zu leisten. Galvani starb am 4. Dezember

[1]) Emil Du Bois-Reymond, Untersuchungen über tierische Elektricität. Berlin 1848. Bd. I, Seite 50.



1798. Die Erfindung der Voltaschen Säule, welche den gänzlichen Untergang der älteren Theorie herbeiführte, sollte er nicht mehr erleben.

Alessandro Volta wurde am 18. Februar 1745 zu Como geboren. Fast 30 Jahre alt wurde er Professor der Physik an dem Gymnasium seiner Vaterstadt. In derselben Eigenschaft berief man ihn fünf Jahre später (1779) an die Universität Padua, wo er bis zum Jahre 1819 wirkte. Die letzte Zeit seines Lebens verbrachte Volta in der Zurückgezogenheit; er starb am 5. März des Jahres 1827 zu Como.

Als Galvanis berühmte Abhandlung erschien, hatte Volta, der während der ersten Zeit seiner wissenschaftlichen Laufbahn mit Vorliebe das Verhalten der Gase studierte, sich schon hervorragende Verdienste um die Elektricitätslehre erworben. In dem Kondensator, den er mit seinem Strohhalmelektrometer verband, hatte er ein Mittel zum Nachweis geringer Elektricitätsmengen ersonnen[1]), welches bei der späteren Untersuchung der kontaktelektrischen Phänomene von gröfstem Werte sein sollte. Die Royal Society hatte ihn dafür zu ihrem Mitgliede ernannt und ihn durch die Verleihung einer Medaille ausgezeichnet.

Anfangs war auch Volta von der Richtigkeit der Ansichten Galvanis überzeugt. Einige Jahre später erkannte er jedoch, dafs von einem Vergleich des Muskels mit der Leydener Flasche nicht die Rede sein könne. Der Froschschenkel geriet nämlich auch in Zuckungen, wenn ein elektrischer Ausgleich lediglich durch den Nerven hindurch erfolgte und die Muskeln gänzlich aufserhalb des leitenden Kreises blieben. Anknüpfend an den von Sulzer herrührenden Versuch[2]), gelang es Volta, durch Anlegen von zwei verschiedenartigen Metallstücken an Mund und Auge anstatt einer Geschmackserregung eine subjektive Lichtempfindung hervorzurufen. Auf diese Weise gewann in ihm die Vorstellung immer mehr Raum, dafs man es in den Metallen nicht mit blofsen Leitern, sondern mit den eigentlichen Erregern der Elektricität zu thun habe. Volta suchte daher der Mitwirkung von Nerv und Muskel gänzlich zu entraten. Er brachte die Metalle mit allen möglichen feuchten, aber nicht animalischen Körpern, wie Papier, Tuch u. s. w., in Berührung. Um den hierbei gleichfalls eintretenden elektrischen Ausgleich, der sich bisher in den Zuckungen der Muskeln geltend

---

[1]) Volta, Del modo di rendere sensibilissima la più debole elettricita sia artificiale, sia naturale. 1784.

[2]) Siehe Seite 308.

gemacht hatte, unzweifelhaft darzuthun, bediente er sich seines Kondensators.

Wir sind damit bei dem Fundamentalversuch der Kontaktelektricität angelangt. Dieser bestand darin, dafs man das Auftreten entgegengesetzter Elektricitäten durch die blofse Berührung zweier Metalle bewirkte, ohne dazu einer feuchten Zwischensubstanz, sei dieselbe animalisch oder nicht, zu bedürfen. Volta beschreibt diesen Versuch, zu dem er nichts weiter benötigte als Platten von verschiedenen Metallen mit isolierenden Handhaben und ein Elektrometer mit Streifen vom feinsten Blattgold, mit folgenden Worten[1]: „Bringt man die miteinander in Berührung gewesenen Platten unmittelbar an den Knopf des sehr empfindlichen Elektrometers, so werden die Goldblättchen etwas auseinandergehen und dadurch einige Elektricität anzeigen, welche positiv oder negativ sein wird, je nach der Natur des Metalles, welches man untersucht, und des anderen, mit dem dieses vorher in Berührung stand.“ Wählte Volta z. B. eine Zink- und eine Kupferscheibe, so erwies sich nach der Berührung erstere als positiv, letztere dagegen als negativ elektrisch. Brachte man das Kupfer mit Zinn oder Eisen zusammen, so wurde es gleichfalls, indes in weit geringerem Mafse negativ elektrisch, während das Zinn und das Eisen sich wie das Zink in dem ersten Versuch verhielten. Wurden endlich Gold oder Silber mit Kupfer berührt, so wurde das letztere Metall positiv, Gold und Silber dagegen wurden negativ elektrisch.

Indem Volta auf solche Weise seinen Fundamentalversuch vielfach abänderte, gelangte er zur Aufstellung der folgenden elektrischen Spannungsreihe:

+
Zink
Blei
Zinn
Eisen
Kupfer
Silber
Gold
Graphit
—

Diese Reihe enthält die bekanntesten Metalle in einer solchen Anordnung, dafs jedes vorhergehende Glied mit einem der nach-

[1]) In Voltas drittem Brief an Gren vom Jahre 1797.

stehenden in Berührung gebracht positiv elektrisch wird, während das spätere Glied stets den negativ elektrischen Zustand annimmt. Dabei stellte sich durch Messung mit dem Strohhalmelektrometer heraus, dafs die elektrische Differenz zwischen je zwei Gliedern dieser Reihe umso gröfser ist, je weiter die Glieder von einander entfernt sind. So ergaben sich[1]) für die ersten vier Glieder der Reihe folgende Differenzen:

Zink | Blei = 5
Blei | Zinn = 1
Zinn | Eisen = 3

Für Zink | Eisen aber erhielt man den Wert 9 (= 5 + 1 + 3). Damit war das wichtige Gesetz gefunden, dafs die elektrische Differenz für zwei Glieder der Spannungsreihe gleich der Summe der Differenzen aller dazwischen liegenden Glieder ist, sodafs in einer geschlossenen Kette von Metallen, in welcher z. B. Zink mit Blei, dieses mit Zinn, dieses mit Eisen und das letztere wieder mit Zink verbunden wird, die elektrischen Differenzen sich ausgleichen und die Spannung infolgedessen gleich Null ist.

Volta hatte auf Grund dieser Versuche angenommen, dafs die erregende Kraft ausschliefslich an der Berührungsstelle der Metalle ihren Sitz habe und die animalischen oder anderen Feuchtigkeiten nur als Leiter dienen. Weitere Experimente belehrten ihn jedoch, dafs auch bei der Berührung zwischen Metall und Flüssigkeit eine erregende oder elektromotorische Kraft auftritt. Isolierte Platten von Silber, Zinn, Zink u. s. w. wurden mit feuchtem Holz, Papier oder feuchten Ziegeln in Berührung gebracht. Nach dem Abheben erwiesen sich die Metallplatten als negativ elektrisch. Die Metalle wurden jetzt Elektromotoren erster, die Flüssigkeiten, welche sich nicht in die Spannungsreihe eingliedern lassen, dagegen Elektromotoren oder Leiter zweiter Klasse genannt. Volta zeigte nun, dafs während in einem nur aus Elektromotoren erster Ordnung bestehenden Kreise keine Bewegung der Elektricitäten, kein Strom entsteht, ein solcher hervorgerufen wird, so oft zwei Elektromotoren erster Klasse mit einem nassen zusammenhängenden Leiter der zweiten Klasse und unter sich entweder unmittelbar oder vermittelst eines dritten Leiters in Verbindung stehen und auf diese Weise einen Kreis von Leitern bilden. Eine derartige Vereinigung wurde ein galvanisches Element genannt. Die Wirkung desselben vervielfältigte Volta, indem er eine gröfsere Anzahl solcher Elemente zu seiner Säule verband.

[1]) Volta, Gilberts Annalen, Bd. X, Seite 443.

Den ersten Bericht über diese an Wichtigkeit von keiner anderen übertroffene Erfindung erstattete Volta im Jahre 1800[1]). Er teilt in demselben mit, dafs es ihm im Verfolg seiner Versuche über die Erzeugung von Elektricität durch blofse Berührung gelungen sei, einen neuen Apparat zu konstruieren. Dieser habe in sehr schwachem Mafse die Wirkung der Leydener Flasche, andererseits übertreffe er die letztere aber darin, dafs er nicht wie jene vorher mit fremder Elektricität geladen werden müsse, sondern jedesmal wirke, wenn man ihn in geeigneter Weise berühre, wie oft auch die Berührung stattfinde. Dieser Apparat besitze seiner Wirkung und auch seiner Einrichtung nach viel mehr Ähnlichkeit mit dem elektrischen Organ des Zitterrochen als mit einer Leydener Flasche. Nachstehende Figur 62 zeigt uns die erste Säule

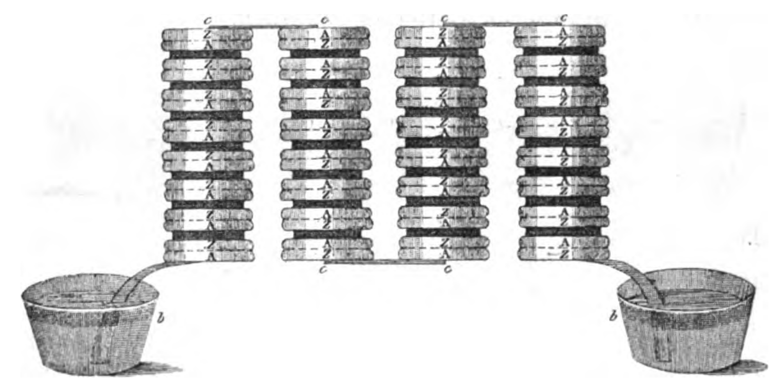


Fig. 62. Die erste Säule Voltas.

Voltas. Ihre Herstellung wird mit folgenden Worten beschrieben[2]): „Dreifsig, vierzig, sechzig oder mehr Stücke Silber, von denen jedes auf ein Stück Zink gelegt wird und die gleiche Anzahl mit Salzwasser oder Lauge getränkte Tuchstücke, diese Stücke zwischen jede Verbindung der beiden Metalle geschaltet, eine derartige Folge der drei Leiter in stets gleicher Anordnung: das ist alles, woraus der neue Apparat zusammengesetzt ist.“ Aufser der leichten Erschütterung, welche man erhielt, wenn man die Hände in die Gefäfse bb tauchte und so den Stromkreis schlofs, liefs sich auch

[1]) In einem an Banks, den Präsidenten der Royal Society, gerichteten Brief vom 20. März jenes Jahres. Dieser Brief wurde in den Philosophical Transactions, 1800, Seite 403 veröffentlicht.

[2]) Brief an Banks, Philosophical Transactions, 1800, Seite 403.

eine Wirkung dieses Apparates auf die Geschmacks-, Gesichts- und Gehörnerven nachweisen.

Bei einer gröfseren Zahl von Platten war Volta gezwungen, entweder die Säule mit Stützen zu umgeben oder sie, wie die Figur es zeigt, in mehrere Teile zu zerlegen. Eine solche Säule besafs nämlich die Unvollkommenheit, dafs die Metallstücke durch ihr Gewicht die Tuchscheiben ausprefsten, sodafs die darin enthaltene Flüssigkeit schliefslich die ganze Säule überzog und unwirksam machte. Volta war daher auf eine Anordnung bedacht, welche diesen Übelstand vermeidet; er brachte die Flüssigkeit in Bechern unter, in welche die durch den leitenden Bogen a verbundenen Metalle A und Z, wie aus Figur 63 ersichtlich, eintauchten. Dieser Becherapparat, den Volta gleichfalls schon in dem an Banks gerichteten Briefe beschreibt, ist das Urbild für alle späteren galvanischen Batterien geworden.

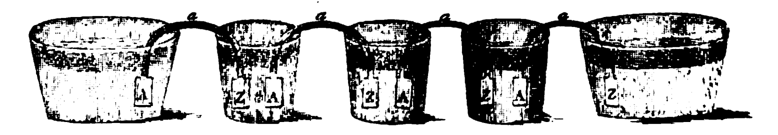



Fig. 63. **Voltas Becherapparat. Abgebildet in dem Brief an Banks (Philosoph. Transact. 1800, 403).**

Die Erfindung erregte nicht nur in England, sondern auch in Frankreich das gröfste Aufsehen. Auf Veranlassung des ersten Konsuls erschien Volta in Paris, wo er im November des Jahres 1801 einen Vortrag hielt. Die hervorragendsten französischen Gelehrten bildeten darauf eine Kommission, welche auch an Bonaparte Bericht erstatten mufste [1]). Dieser liefs für Volta eine grofse goldene Medaille prägen und stiftete einen Ehrenpreis für die besten Arbeiten auf dem Gebiete der galvanischen Elektricität.

Die englischen Physiker beeilten sich, Voltas Apparat zusammenzustellen und mit demselben zu experimentieren, bevor noch der an Banks gerichtete Brief im Druck erschienen war. Dabei

---

[1]) Bericht an die mathematisch-physikalische Klasse des französischen Nationalinstituts über Voltas galvanische Versuche. Siehe Gilberts Annalen X, 1802. Seite 389 ff. Ein Auszug des von Volta in Paris gehaltenen Vortrags in deutscher Übersetzung findet sich gleichfalls in Gilberts Annalen. Bd. X, Seite 421.

richtete sich ihre Aufmerksamkeit sofort auf die von Volta übersehenen, vielleicht auch in seiner Voreingenommenheit für die von ihm begründete Kontakttheorie nicht genügend beachteten chemischen Vorgänge. Der erste, der in England eine Säule nach Voltas Angaben zusammensetzte, war Carlisle[1]). Um eine bessere Berührung des Schliefsungsdrahtes mit der oberen Platte zu bewerkstelligen, hatte Carlisle die letztere mit einem Tropfen Wasser angefeuchtet. Dabei bemerkte er, dafs sich um den Draht herum Gasbläschen bildeten. Um diese Erscheinung genauer zu verfolgen, führte Carlisle in Gemeinschaft mit Nicholson[2]) am 2. Mai des Jahres 1800 den galvanischen Strom unter Anwendung von zwei Messingdrähten durch eine mit Wasser gefüllte Röhre[3]). Der Abstand zwischen den Enden der Drähte betrug 1³/₄ Zoll. Sogleich erhob sich an dem mit dem Silber verbundenen Drahte ein Strom kleiner Gasblasen, während die Spitze des anderen anzulaufen begann. Jenes Gas wurde als Wasserstoff erkannt. Der Sauerstoff des Wassers hatte sich dagegen mit der Substanz desjenigen Drahtes verbunden, welcher zum Zink führte, und ein Anlaufen des Endes verursacht. Als man dann anstatt der Messingdrähte solche aus Platin wählte, ein Metall, mit dem der Sauerstoff sich nicht direkt verbindet, gelang es, beide Gase als solche aus dem Wasser abzuscheiden. Dieses war die erste mit Hülfe des galvanischen Stromes bewirkte Zerlegung einer chemischen Verbindung, deren zusammengesetzte Natur man allerdings schon vorher erkannt hatte. Nichts lag daher näher, als das neue Hülfsmittel auf Substanzen bislang unbekannter chemischer Zusammensetzung anzuwenden, ein Weg, den wir wenige Jahre nach der Anstellung der soeben beschriebenen ersten Elektrolyse mit dem gröfsten Erfolge den Engländer Davy beschreiten sehen.

Humphry Davy wurde am 17. Dezember 1778 zu Pensance in Cornwall geboren. In ärmlichen Verhältnissen aufgewachsen — sein Vater sorgte für sich und die Seinen durch Herstellung von Holzschnitten — wurde der junge Davy Gehülfe bei einem Chirurgen. Diesem mufste er auch bei der Herstellung von Arzeneien zur Hand gehen. Auf solche Weise wurde in ihm ein Interesse an chemischen Vorgängen erweckt, das für seine spätere Laufbahn

---

[1]) Anthony Carlisle (1768—1840), Professor der Anatomie in London.

[2]) William Nicholson (1753—1815), als Ingenieur und Schriftsteller in London thätig, auch bekannt als Erfinder des Gewichtsaräometers.

[3]) Gilberts Annalen, 1800, VI, 340.

bestimmend werden sollte. Im Alter von 20 Jahren erhielt Davy eine Anstellung an einem Institut, das man in Bristol zu dem Zweck ins Leben gerufen hatte, um die Wirkungen gasförmiger Körper auf den Organismus zu prüfen. Davy machte hier die Beobachtung, dafs das von Priestley[1]) dargestellte Stickoxydul (Lachgas) berauschend wirkt.

Bald nachdem die Kunde von Voltas Entdeckungen nach England gekommen war, wurde Davy als Professor der Chemie an die Royal Institution nach London berufen. Hier sehen wir ihn während des ersten Jahrzehnts des 19. Jahrhunderts eine aufserordentliche Wirksamkeit entfalten, durch die er der Lehre vom Galvanismus eine neue Richtung gab. Nur die hervorragende, gleichzeitig das physikalische wie das chemische Gebiet umfassende Forscherthätigkeit eines Davy war imstande, die zahlreichen Irrtümer, welche jener Lehre infolge unrichtiger Auslegung der beobachteten elektrochemischen Vorgänge anhafteten, zu beseitigen. Der Elektricität wurde damals alles Mögliche und Unmögliche zugeschrieben. Hielten es doch viele für ausgemacht, dafs aus reinem Wasser und dem elektrischen Fluidum Salpetersäure, Salzsäure Natron oder gar eine besondere elektrische Säure entstehen könne. Davy lieferte dagegen den Nachweis, dafs in solchen Fällen das Wasser Verunreinigungen enthielt, durch deren Zersetzung die genannten Verbindungen entstanden waren, oder dafs in anderen Fällen unter dem Einflufs der Elektricität Bestandteile des Gefäfses an das Wasser abgegeben und zersetzt wurden.

Über eine Entdeckung von weittragendster Bedeutung berichtete Davy der Royal Society im Jahre 1807. Schon Lavoisier hatte die Vermutung ausgesprochen, dafs man es in den Alkalien und den Erden mit den Metallkalken analogen Verbindungen des Sauerstoffs mit bis dahin unbekannten Elementen zu thun habe. Alkali war auch die Substanz, welche aus der Wand des Glasgefäfses in das Wasser überging, wenn letzteres in einem solchen der Elektrolyse unterworfen ward. Was lag daher näher, als die zersetzende Kraft des galvanischen Stromes auf das Alkali selbst wirken zu lassen und so das Dunkel, welches die chemische Natur dieser Verbindung umgab, zu lichten. Mit den interessanten Einzelheiten des Verfahrens, welches Davy hierbei einschlug, ist der Leser bereits durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden[2]).

[1]) im Jahre 1772.

[2]) Siehe Band I, Abschnitt 42.

Das Ergebnis dieser Versuche gipfelte darin, dafs unter der gewaltigen Wirkung der aus mehreren hundert Plattenpaaren zusammengesetzten Batterie der Royal Institution aus dem Natron und dem Kali zwei neue Metalle, das Natrium und das Kalium, abgeschieden wurden, über deren wunderbare Eigenschaften Davy in derselben Vorlesung vom Jahre 1807 berichtet[1]). Bald darauf (1808) gelang ihm auch die Zerlegung von Kalk, Baryt, Strontian und Magnesia. Selten ist die Chemie mit einer solchen Fülle neuer Thatsachen bereichert worden, wie es innerhalb dieses kurzen Zeitraumes durch die Ergebnisse der elektrochemischen Untersuchungen Davys geschah. In dem galvanischen Strom hatte man das gewaltigste Agens kennen gelernt, ja die neu entdeckten Elemente waren, wie Davy sofort hervorhob, ihrerseits wieder geeignet, als kräftige Agentien Anwendung zu finden, da sie an Affinität zum Sauerstoff alle anderen bekannten Elemente übertrafen und z. B. imstande waren, das Wasser ohne weiteres zu zerlegen.

Neben der zersetzenden Wirkung der Voltaschen Säule wandte sich das Interesse in steigendem Mafse auch den innerhalb der Säule zwischen den Metallen und den angewandten Flüssigkeiten vor sich gehenden chemischen Veränderungen zu. Während man zuerst dieselben als etwas Nebensächliches betrachtet hatte, begann man jetzt in dem innerhalb der Kette sich abspielenden chemischen Vorgang die Ursache des elektrischen Stromes zu erblicken. Auch die Wärme- und die Lichtwirkung konnte, als man die Zahl der Platten vergröfserte, nicht verborgen bleiben. So war die Wärmeentwicklung, welche Davy erhielt, als er den Strom seiner aus einigen hundert Plattenpaaren zusammengesetzten Batterie durch Alkali leitete, grofs genug, um letzteres zu schmelzen. Und als derselbe Forscher später[2]) eine Batterie von 2000 Elementen benutzte, zeigte sich an der Unterbrechungsstelle, zumal bei Anwendung von Kohlespitzen, ein äufserst blendendes Licht, das jedoch erst in der neuesten Zeit, seitdem man billigere Elektricitätsquellen kennen lernte, als Bogenlicht zu Beleuchtungszwecken Verwendung finden konnte.

---

[1]) Davy, On some new Phenomena of chemical changes produced by electricity, particulary the decomposition of the fixed alkalies. Die Abhandlung wurde 1893 unter dem Titel „Elektrochemische Untersuchungen von Humphry Davy" als 45. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann.

[2]) Philosophical Transactions. 1821.



Gleich der zuletzt erwähnten sind viele andere Entdeckungen Davys dem praktischen Leben zu Gute gekommen. Während seine Sicherheitslampe die Zahl der in den Kohlengruben stattfindenden Unglücksfälle erheblich verringert hat, zeigt in neuester Zeit das von ihm entdeckte Kalium dem in dunkler Nacht ins Meer gespülten Schiffer den Weg zur Rettung[1]). Für Davys unvergleichliche Leistungen ist ihm auch reiche Anerkennung zu Teil geworden. Napoleon verlieh, obgleich er damals mit England im Kriege lag, dem genialen Manne einen jener Preise, die er für hervorragende Arbeiten auf dem Gebiete der galvanischen Elektricität gestiftet hatte. In seinem Vaterlande wurde Davy geadelt und zum Präsidenten der Royal Society gewählt, ein Amt, welches er bekleidete, bis zunehmende Schwäche des Körpers ihn zum Rücktritt zwang. Auf einer zur Wiederherstellung der Gesundheit unternommenen Reise verschlimmerte sich sein Leiden. Er starb in Genf am 29. Mai des Jahres 1829.

Die ersten Beobachtungen, welche auf eine Beziehung zwischen der galvanischen Elektricität und dem Magnetismus hindeuteten, wurden gleichfalls von Davy gemacht. Er fand nämlich, dafs der zwischen den Kohleelektroden erzeugte Lichtbogen durch die Pole eines starken Magneten angezogen und abgestofsen, ja sogar in eine rotierende Bewegung versetzt werden kann. Es lag nahe, nun auch umgekehrt die Wirkung eines Stromes auf einen beweglich angebrachten Magneten nachzuweisen. Dies gelang dem dänischen Physiker Oersted[2]). In einer 1820 an die hervorragendsten Physiker und Gesellschaften gesandten kurzen Mitteilung[3]), deren wichtigste Abschnitte dem Leser durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden sind[4]), berichtet Oersted, dafs es ihm gelungen sei, eine deutliche Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom hervorzurufen. Oersted schlofs daraus, dafs der Strom nicht in dem Draht eingeschlossen ist,

1) Eine mit Kalium gefüllte Büchse wird mit dem Rettungsgürtel verbunden, das Kalium entzündet sich, sobald es mit dem Wasser in Berührung kommt und brennt mit intensivem Lichte.

2) Hans Christian Oersted, geboren den 14. August 1777 auf Langeland, gestorben den 9. März 1851 zu Kopenhagen, Professor der Physik an der Kopenhagener Universität.

3) Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam. 1820. Neuerdings herausgegeben als 63. Band von Ostwalds „Klassiker der exakten Wissenschaften". Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1895.

4) Siehe Band I, Abschnitt 46.



sondern sich zugleich in dem umgebenden Raum ziemlich weithin ausbreitet.

Einer Wirkung des Stromes auf den Magneten mufste nach dem von Newton ausgesprochenen Grundgesetz eine gleichgrofse Gegenwirkung des Magneten auf den Strom entsprechen. Von diesem Gedanken geleitet, bemühte sich der französische Physiker Ampère[1]), eine Beziehung zwischen der Elektricität und dem Magnetismus nachzuweisen. Zunächst galt es, den Stromleiter beweglich zu machen. Ampère erreichte dies, indem er dem Draht die Form eines Rechteckes gab und es so einrichtete, dafs sich derselbe in zwei mit Quecksilber gefüllten Näpfchen aufhängen liefs. Ein solcher beweglicher Leiter wurde durch einen Magneten veranlafst, sich senkrecht zur Verbindungslinie der Pole einzustellen. Infolgedessen nahm der Leiter, wenn nur der Erdmagnetismus auf ihn wirkte, eine solche Stellung ein, dafs seine Ebene den magnetischen Meridian senkrecht schnitt[2]).

Fast noch merkwürdiger als diese Resultate Ampères war der von ihm kurze Zeit nach der Entdeckung Oersteds erbrachte Nachweis, dafs zwei galvanische Ströme anziehend oder abstofsend auf einander wirken, je nachdem sie gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind. Durch die Entdeckung dieser Thatsache wurde Ampère zum Hauptbegründer der Elektrodynamik. Auch die Lehre vom Elektromagnetismus erfuhr durch ihn eine wichtige Erweiterung, indem er zeigte, dafs ein vom Strome umflossener Eisenstab magnetisch ist.

Diese Fülle überraschender Beziehungen zwischen der Elektricität und dem Magnetismus führten ferner Ampère zu der Auffassung, dafs ein Magnet aus von galvanischen Strömen umflossenen Teilchen bestehe und das Magnetisieren nichts weiter als ein Parallelmachen jener molekularen Ströme sei. Ein dieser Auffassung entsprechendes Bild des Magneten giebt Ampères Solenoïd, eine beweglich aufgehängte, vom Strom durchflossene Drahtspirale. Letztere stellt sich den von Ampère entdeckten elektrodynamischen Gesetzen zufolge so ein, dafs ihre Achse mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt. Die Pole zweier Solenoide müssen nach denselben Gesetzen eine anziehende oder abstofsende Wirkung äufsern, je nachdem das Kreisen der Ströme in den gegenüber

[1]) André-Marie Ampère wurde am 20. Januar 1775 zu Lyon geboren und starb am 10. Juni 1836 zu Marseille. Ampère lehrte an der École polytechnique zu Paris.

[2]) Ampère, Annales de chimie et de physique. T. XV. S. 188 ff.

befindlichen Enden in entgegengesetzter oder in gleicher Richtung erfolgt. Ein vorübergeführter Strom wird eine solche Spirale nach der von Ampère aufgestellten Schwimmerregel ablenken. Kurz, das Solenoid verhält sich, wie Ampère zur Bekräftigung seiner Theorie gezeigt hat, in jeder Hinsicht wie ein wahrer Magnet. Vergegenwärtigen wir uns noch einmal den Inhalt dieses Abschnitts, so finden wir, dafs zu Beginn der zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts die wesentlichsten Gebiete der Elektricitätslehre mit Ausnahme der Induktion erschlossen waren. Die Entdeckung der letzteren sollte der unvergleichlichen Experimentierkunst eines Faraday vorbehalten bleiben, mit dessen grundlegenden Arbeiten wir uns in einem der nächsten Abschnitte beschäftigen werden.

## 3. Der insbesondere durch Laplace und Herschel bewirkte Aufschwung der Astronomie.

Eine so weitgehende Umgestaltung beziehungsweise Erschliefsung neuer Gebiete, wie sie zu Beginn der neuesten Periode die Chemie und die Physik erfuhren, hat die Geschichte der Astronomie nicht aufzuweisen. Ihr Lehrgebäude war durch die Arbeiten des 17. und des 18. Jahrhunderts so festbegründet, dafs es sich im wesentlichen nur noch um den Ausbau im einzelnen und späterhin um eine Anwendung der physikalischen und chemischen Forschungsresultate auf diese Wissenschaft handeln konnte. Während wir bisher jeden Abschnitt mit der Schilderung der astronomischen Ergebnisse begannen, sei es, dafs dieselben die Errungenschaften aller übrigen Wissenszweige übertrafen, sei es, dafs sie letzteren erst Methode verliehen, mufste für den neuen Zeitabschnitt der Physik und der Chemie, die nun ihrerseits für die Entwicklung der Astronomie bestimmend wurden, der Vorrang eingeräumt werden. Die Astronomie ruhte gegen das Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts insbesondere in den Händen von Laplace und Herschel. Während der erstere, seine Untersuchungen vorwiegend auf unser Planetensystem beschränkend, das Erbe Newtons antrat und vervielfältigte, hat Herschel, wie Humboldt sich ausdrückt [1]), das Senkblei zuerst in die Tiefen des Himmels geworfen. Wir werden ihn als den eigentlichen Begründer der Astronomie der Fixsterne kennen lernen.

1) Band I ds. Grdr., Seite 367.



Pierre Simon Laplace wurde am 28. März 1749 in einer kleinen Stadt der Normandie[1]) als der Sohn eines armen Landmannes geboren. Die aufserordentliche Fassungsgabe, welche Laplace auszeichnete, leuchtet schon daraus hervor, dafs er von seinem 18. bis zur Vollendung des 20. Lebensjahres mehrere Abhandlungen aus dem Gebiete der Integralrechnung veröffentlichte, die ihm den Ruf eines bedeutenden Mathematikers eintrugen. Laplace wurde infolgedessen zum Lehrer der Mathematik ernannt. Als solcher wirkte er zunächst in seiner Vaterstadt; bald darauf berief man ihn an die Militärschule zu Paris. Seit dieser Zeit stellte Laplace seine aufserordentliche mathematische Befähigung vorzugsweise in den Dienst der theoretischen Astronomie, welche durch seine Untersuchungen erst in den Stand gesetzt wurde, eine befriedigende Erklärung der in unserem Planetensystem auftretenden säkularen Änderungen zu geben. Während manche Astronomen schon geneigt waren, gewisser bei der Bewegung der Planeten in die Erscheinung tretender Umstände wegen eine nur annähernde Gültigkeit des Newtonschen Gravitationsgesetzes anzunehmen, lieferte Laplace, der sich dabei auf die Vorarbeiten Eulers stützen konnte, den Nachweis, dafs unter dem Gesichtspunkte des Problems von den drei Körpern, jene scheinbaren Abweichungen von der Regel, dieselbe erst vollauf bestätigen. Newton selbst hatte nämlich nur die Bewegung eines Planeten um seinen Centralkörper untersucht und gezeigt, dafs diese in einem Kegelschnitte erfolgen mufs. Das Problem der drei Körper war damit gegeben, dafs bei dem Umlauf des Mondes um die Erde der Einflufs der Sonne in Rechnung zu stellen ist, um zu einer Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung zu gelangen. Diese Untersuchung hatte schon Euler beschäftigt und ihn zu Resultaten geführt, welche später den von Tobias Mayer entworfenen Mondtafeln als Unterlage dienten[2]). Das Hauptverdienst von Laplace bestand nun darin, dafs er das Problem von den drei Körpern auch auf die Planeten und Kometen ausdehnte und eine Theorie der Störungen, d. h. der Abweichungen von der elliptischen Bahn, welche diese Himmelskörper durch ihre wechselseitige Anziehung erfahren, lieferte. Die strenge Lösung des Problems der drei Körper, welche auch heute noch die Kräfte der höheren Analysis übersteigt, vermochte Laplace jedoch nicht zu geben.

---

[1]) Beaumont en Auge.

[2]) Siehe Seite 235 ds. Bds.

Eine seiner frühesten Abhandlungen aus dem Bereich der theoretischen Astronomie, lieferte den wichtigen Nachweis, dafs die mittlere Entfernung der Planeten von der Sonne zwar Änderungen erleidet, im Mittel jedoch konstant ist. Bald darauf wurde Laplace, kaum 24 Jahre alt, zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften gewählt. Nachdem er 1794 eine Professur an der École normale erhalten, sehen wir ihn an den grofsen Aufgaben, mit welchen sich damals die französische Nation trotz der politischen Gärung beschäftigte, den hervorragendsten Anteil nehmen. So gehörte Laplace der aus dem Schofse der Akademie gewählten Kommission für Mafs und Gewicht an, welche von der Nationalversammlung im Jahre 1790 den Auftrag erhielt, eine unveränderliche Grundlage für ein neues Mafs- und Gewichtssystem in Vorschlag zu bringen. Die Bemühungen, das schon von Huygens hierfür in Aussicht genommene Sekundenpendel zu wählen, wurden durch Laplace gekreuzt. Letzterer, der offenbar eine neue Gradmessung wünschte, bestimmte die Kommission von dem Meridianquadranten auszugehen. Die Akademie brachte daher im Jahre 1791 den zehnmillionsten Teil desselben als Meter in Vorschlag. Unter dem Vorsitz von Laplace wurde später die École polytechnique, eine der hervorragendsten Pflanzstätten der französischen Wissenschaft, neu organisiert. Napoleon, welcher Laplace sehr schätzte, übertrug ihm sogar das Ministerium des Innern und erhob ihn in den Grafenstand. Auch nach der Restauration wurde Laplace mit Ehren überhäuft. Er schied am 5. März des Jahres 1827 mit den Worten aus dem Leben: „Was wir wissen ist wenig, aber was wir nicht wissen, ist ungeheuer viel.“

Von den Schriften dieses gröfsten Astronomen, den Frankreich hervorgebracht, wurde später auf öffentliche Kosten eine Ausgabe veranstaltet[1]). Die ersten fünf Bände derselben enthalten das von 1799—1825 erschienene Hauptwerk von Laplace, die „Mécanique céleste“. Ein hervorragender Geschichtsschreiber der Astronomie[2]) bezeichnet dasselbe als „eine unendlich ausgedehnte und bereicherte Ausgabe von Newtons Principien“. Nach einer Ableitung der aus dem Gravitationsgesetze folgenden allgemeinen Gleichungen für die Bewegungen der Himmelskörper, entwickelt Laplace in diesem Werke seine schon erwähnte Theorie der Störungen. Hierbei bieten ihm die Beobachtungen an den einander

[1]) Laut Gesetz vom Jahre 1842.

[2]) Wolf, Geschichte der Astronomie, Seite 510.

benachbarten grofsen Planeten Saturn und Jupiter, deren Ungleichheiten auf den Einflufs, den sie aufeinander ausüben, zurückgeführt werden, sowie die Beobachtungen an den Jupitermonden die willkommenste Unterlage für seine theoretischen Erwägungen. Da die Jupitertrabanten mit ihrem Centralkörper ein Ganzes ausmachen, das dem Planetensystem sehr ähnlich ist, die Umläufe hier aber in verhältnismäfsig kurzer Zeit erfolgen, so liefsen diese kleinen Himmelskörper Laplace in einem kurzen Zeitraume alle jene grofsen Veränderungen erkennen, welche im Planetensystem sich im Verlaufe von Jahrhunderten abspielen. War Newton noch geneigt, die trotz aller gegenseitigen Störungen im Sonnensystem offenbar vorhandene Stabilität auf übernatürliche Einflüsse zurückzuführen, so gelang es Laplace, diese Stabilität als eine Naturnotwendigkeit nachzuweisen und damit die der Gravitationsmechanik gestellte Aufgabe erst endgültig zu lösen.

Auch das Problem der Gezeiten, für welches Newton die erste, indes in mancher Hinsicht mit den Thatsachen noch nicht im Einklang befindliche theoretische Ableitung gegeben hatte, wurde durch Laplace zu einem gewissen Abschlufs gebracht. Dabei stand ihm in den über mehrere Jahre sich erstreckenden täglichen Beobachtungen, welche auf Antrag der Akademie der Wissenschaften in den französischen Häfen, insbesondere in Brest, stattgefunden hatten, ein vortreffliches Material zur Verfügung, das Laplace unter Anwendung der zur Zeit Newtons noch nicht entwickelten Prinzipien der Hydrodynamik verarbeitete. Es gelang ihm, Linien gleicher Flutzeit, die sogenannten Isorachien, zu ermitteln. Eine befriedigende Theorie der Gezeiten vermochte jedoch erst die vereinte Arbeit zahlreicher Beobachter und Theoretiker der neueren Zeit zu geben.

Einige Jahre, bevor die Mécanique céleste zu erscheinen begann, suchte Laplace die Ergebnisse der astronomischen Forschung in allgemein verständlicher Weise weiteren Kreisen zugänglich zu machen. So entstand seine „Darstellung des Weltsystems“ [1]), ein Werk, mit dem der Leser bereits durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden ist.

Mit dem Ausbau der Theorie des Planetensystems ging eine beträchtliche Erweiterung der Kenntnis von demselben Hand in Hand. Schon Keppler hatte auf den verhältnismäfsig grofsen Abstand hingewiesen, der sich zwischen den Bahnen des Mars und

[1]) Exposition du Système du Monde. Paris, 1796.



des Jupiter befindet. Angeregt durch Spekulationen, welche darauf abzielten, eine die Abstände der Planeten beherrschende Gesetzmäfsigkeit zu finden, begann man mit dem Jahre 1800 den Tierkreis nach kleineren Wandelsternen zu durchsuchen. Den ersten Erfolg nach dieser Richtung hatte der Italiener Piazzi zu verzeichnen. Dieser Astronom richtete anfangs Januar 1801 sein Augenmerk auf einen Stern 8. Gröfse, welcher sich im Stier befand. Als er den Stern an den nächsten Abenden von neuem anvisierte, fand er, dafs dieser seine Stellung zu den benachbarten Sternen verändert hatte, also offenbar ein Planet war. Das neue Gestirn erhielt den Namen „Ceres". Es wurde, nachdem Piazzi es aus den Augen verloren, von Olbers wieder entdeckt und in die Lücke zwischen Mars und Jupiter verwiesen. Dasselbe geschah mit einem zweiten von Olbers aufgefundenen Planeten, der Pallas. An diese reihte sich noch 1804 die Juno und 1807 die Vesta. Damit war der Anfang zur Entdeckung eines zwischen Mars und Jupiter befindlichen Planetoidenringes gemacht, dessen Glieder, wie man nach der Anfertigung genauerer, die Sterne bis zur neunten Gröfse umfassender Himmelskarten erkannte, nach hunderten zählen.

Eine fernere Erweiterung unserer Kenntnis des Planetensystems erfolgte durch den zweiten grofsen Vertreter, den die Astronomie in dieser Periode hatte, durch Wilhelm Herschel; sie bestand in der Entdeckung des Uranus. Da Herschel wie kein anderer den Blick über die Grenzen des Planetensystems hinaus gerichtet hat und damit zum eigentlichen Begründer der Fixsternastronomie geworden ist, wollen wir uns hier mit seinem aufsergewöhnlichen Lebenslauf und seinen wissenschaftlichen Thaten etwas eingehender beschäftigen.

Friedrich Wilhelm Herschel wurde am 15. November 1738 in Hannover geboren. Sein Vater war ein armer, mit zahlreichen Nachkommen gesegneter Musiker, der eine grofse Bewunderung für die Astronomie an den Tag legte. Herschels Schwester, deren Aufzeichnungen[1]) wir fast alles verdanken, was über die Jugend des grofsen Astronomen bekannt geworden ist, erzählt, der Vater habe sie in einer klaren Nacht auf die Strafse geführt, um sie mit den schönsten Sternbildern bekannt zu machen. Auch sei er ihrem Bruder Wilhelm bei seinen Studien an die Hand

---

[1]) Karoline Herschels Memoiren und Briefwechsel. Deutsch von Scheibe. Berlin 1877.



gegangen. Letzterer war gleichfalls zum Musiker bestimmt. Ein lebhaftes Interesse für die Theorie seiner Kunst veranlafste ihn, sich eingehend mit der Mathematik zu befassen. Fünfzehn Jahre alt wurde Wilhelm Mitglied der Kapelle eines Regiments, mit dem er bald darauf[1]) nach England ging. Nachdem er seinen Dienst quittiert, bekleidete er eine Organistenstelle in Bath, wohin ihm seine Schwester Karoline folgte. Letztere hing mit schwärmerischer Bewunderung an dem Bruder und half ihm als treue Mitarbeiterin den Ruhm gewinnen, der seinen Namen später verherrlichen sollte. Trotzdem Herschel durch seine Stellung in Bath sehr in Anspruch genommen war, fand er doch Zeit zur Fortsetzung seiner Studien. Der Umstand, dafs der Mann, welcher auf musiktheoretischem Gebiete[2]) sein Lieblingsschriftsteller war, auch ein Werk über Optik geschrieben, im Verein mit den Anregungen, die er in seiner Jugendzeit empfangen, führten Herschel dazu, dafs er sich mit immer gröfserem Interesse und Verständnis der Astronomie zuwandte. „Als ich mit dieser Wissenschaft bekannt wurde“, schrieb er später[3]), „fafste ich den Entschlufs, nichts auf Treu und Glauben anzunehmen, sondern alles, was andere vor mir erblickt hatten, mit meinen eigenen Augen zu sehen.“ Da indes die Kosten der Anschaffung eines Fernrohrs zu bedeutend waren, beschlofs Herschel, selbst ein solches anzufertigen. Nach vielen Mühen brachte er im 37. Jahre seines Lebens ein Spiegelteleskop zustande, mit dem man den Saturnring erblicken konnte. Herschels Fleifs verdoppelte sich jetzt; sein ganzer Stolz bestand darin, Teleskope zu liefern, von denen immer eins das andere übertraf.

Einige kleinere astronomische Abhandlungen waren schon aus seiner Feder hervorgegangen, als er mit einem Schlage durch die Entdeckung eines neuen, jenseits des Saturn umlaufenden Planeten zum berühmten Manne wurde. Diese Entdeckung des Uranus erfolgte am 13. März des Jahres 1781. Es war ein astronomisches Ereignis, dem sich nichts ähnliches zur Seite stellen liefs. König Georg III., der eine Privatsternwarte besafs, ernannte Herschel, nachdem er dessen Teleskop gesehen und nachdem sich herausgestellt hatte, dafs es die besten Instrumente übertraf, zum königlichen Astronomen. Herschel gab jetzt seine Stellung als Musiker auf und verliefs Bath im Jahre 1782, um sich ausschliefslich der

---

[1]) Im Jahre 1757.

[2]) Smith, Harmonics.

[3]) In einem Brief vom 15. Februar 1783, abgedruckt im Göttinger Magazin der Wissenschaften und Litteratur. III, 584.



Erforschung des Himmels zu widmen. Mit reichen Mitteln — der König stellte 4000 Pfund zur Verfügung — wurde jetzt ein Riesenteleskop geschaffen, dessen Bau mehrere Jahre (1785—1789) in Anspruch nahm. Die Konstruktion, die Herschel hierbei wählte, war eine eigenartige (siehe Fig. 64). Das neue Instrument besafs nämlich nur einen Spiegel, welcher beiläufig etwa 2000 Pfund wog und einen Durchmesser von 4 Fufs besafs. Dieser Spiegel M war gegen die Achse des Instruments ein wenig geneigt, sodafs das Bild ab am unteren Rande der Öffnung entstand und dort durch das Okular betrachtet werden konnte. Allerdings ging hierbei ein Teil des Lichtes verloren, da der Beobachter in das

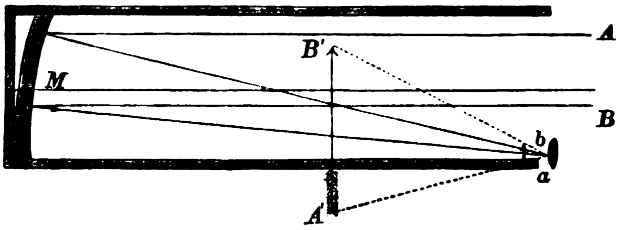



Fig. 64. Schema des von Herschel konstruierten Spiegelteleskops.

Instrument von vorn hineinschauen mufste (Front-view telescope). Doch war dieser Verlust bei genügendem Durchmesser des Spiegels nicht so beträchtlich, um die Konstruktion in Frage zu stellen.

Bis zu seinem am 25. August des Jahres 1822 erfolgten Tode blieb Herschel auf der in der Nähe von Windsor errichteten Sternwarte unermüdlich mit der Durchmusterung des Himmels beschäftigt. Diese Arbeitsstätte verliefs er nur, um von Zeit zu Zeit der Royal Society über die Ergebnisse seiner Forschungen, denen wir uns jetzt zuwenden wollen, zu berichten.

Zunächst reihte sich an die Auffindung des Uranus noch manche wertvolle, unser Planetensystem betreffende Beobachtung. So entdeckte Herschel mehrere Trabanten dieses Hauptplaneten, sowie den ersten und zweiten Mond des Saturn. Für den letzteren hatte bekanntlich Huygens zuerst die Existenz eines Trabanten, und zwar des sechsten, nachgewiesen. Die gleichfalls von Huygens entdeckten weifsen Flecke an den Marspolen fand Herschel abhängig von den Jahreszeiten dieses Planeten, für den er eine an irdische Verhältnisse erinnernde Beschaffenheit nachzuweisen vermochte[1]). Während schon Cassini imstande war, die Rotationszeit

[1]) Herschel. On the remarkable appearances at the polar regions of the Planet Mars. 1784.

des Jupiter aus der Beobachtung gewisser Flecken dieses Planeten zu ermitteln, gelang erst Herschel die Lösung der gleichen Aufgabe für den Saturn[1]). Zum Centralkörper unseres Systems übergehend suchte Herschel sowohl dessen physische Natur als dessen Bewegung und augenblickliche Stellung im Weltraum zu bestimmen. Seine Theorie über die Beschaffenheit des Sonnenkörpers, welche er auf die Beobachtung der Flecken gründete, hat jedoch die Mitte des 19. Jahrhunderts nicht überlebt. Herschel verliefs

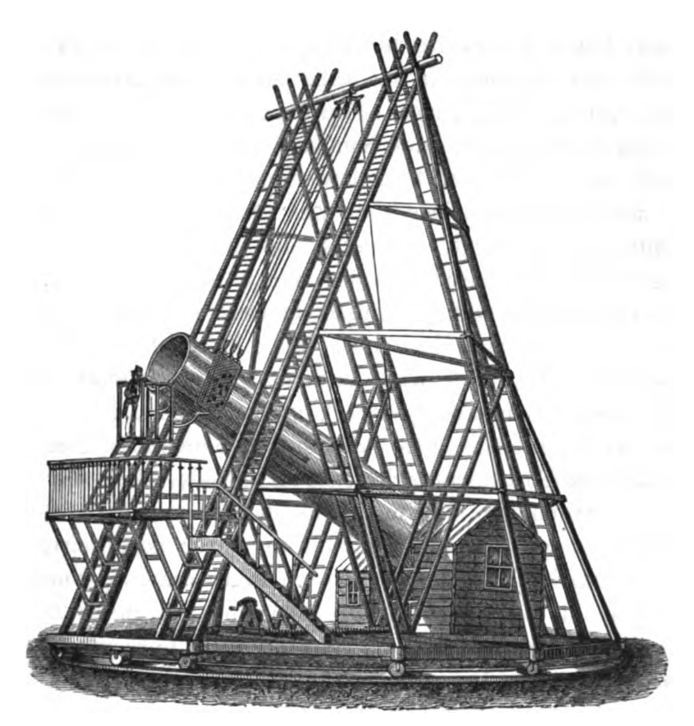


Fig. 65. Der von Herschel in den Jahren 1785—1789 erbaute vierzigfüfsige Reflektor[2]).

nämlich die alte, heute wieder als richtig geltende Ansicht, dafs wir es in der Sonne mit einem Körper von sehr hoher Temperatur zu thun haben. Er nahm an, dafs sie aus einem festen, nicht leuchtenden, vielleicht bewohnbaren Kern bestehe, der von einer durchsichtigen Atmosphäre und einer darüber befindlichen licht-

[1]) Nach seiner Angabe beträgt die Rotationszeit des Saturn 10 Stunden 29 Minuten.

[2]) Philosophical Transactions. 1795. II. Tab. XXIV.

spendenden Photosphäre umgeben sei. Herschels Theorie gemäfs entsteht ein Sonnenfleck, indem jene Photosphäre infolge aufsteigender Dämpfe zerreifst und der dunkle Körper der Sonne zum Vorschein kommt.

Da es gelungen war, an den Fixsternen eine Eigenbewegung nachzuweisen, so lag der Gedanke nahe, dafs auch unsere Sonne mit all' ihren Planeten, Monden und Kometen eine nach einem bestimmten Punkte des Himmels gerichtete Bewegung besitze. Eine solche würde ein scheinbares Auseinanderweichen der in der Richtung dieser Bewegung befindlichen Fixsterne, sowie ein Zusammenrücken der Sterne in der Nähe des entgegengesetzten Punktes zur Folge haben. Es gelang Herschel[1]), derartige Veränderungen, welche ein Fortschreiten des Sonnensystems erkennen lassen und sich mit den wirklichen Eigenbewegungen der Fixsterne kombinieren, nachzuweisen. Der von ihm ermittelte Punkt, dem sich die Sonne nähert, liegt, wie auch die späteren Untersuchungen bestätigt haben, im Sternbilde des Herkules. Obgleich die Gröfse der Sonnenbewegung wahrscheinlich mehrere tausend Meilen in der Stunde beträgt, werden doch noch lange Zeiträume verfliefsen, bis der vielleicht um einen weit entfernten Schwerpunkt erfolgende Umlauf unseres Centralkörpers erkannt sein wird.

Eng verknüpft mit dem Problem der Sonnenbewegung ist der gleichfalls von Herschel erbrachte Nachweis, dafs die von den früheren Astronomen für nur scheinbar benachbart gehaltenen Doppelsterne, wie aus der Veränderung ihrer gegenseitigen Lage hervorgeht, wirklich zusammengehören und binäre Systeme bilden. Herschel hat nicht weniger als 846 Doppelsterne katalogisiert. Spätere Forschungen haben ergeben, dafs die Bewegung innerhalb solcher binärer Systeme nach dem Gravitationsgesetz erfolgt, welches damit als das wahre Weltgesetz erkannt war.

Bislang hatte man die Fixsterne wenigstens so betrachtet, als ob sie über die Fläche einer Kugel verteilt wären. Seit Herschel beginnt die Astronomie sich mit der räumlichen Verteilung dieser Weltkörper zu beschäftigen. Schon vor ihm hatte die Milchstrafse und die Anordnung der aufserhalb der Milchstrafse befindlichen Sterne das Nachdenken eines Kant[2]) erregt. Jedoch erst Herschel setzte an die Stelle blofser Vermutungen den auf systematisch angestellte Beobachtungen, seine sogenannten Aichungen,

---

[1]) Herschel, On the proper motion of the Sun and the Solar System. 1783.

[2]) Siehe Bd. I dieses Grundrisses, Seite 126.

gegründeten Nachweis, dafs die deutlich sichtbaren Sterne samt der Milchstrafse — ein Komplex von etwa 20 Millionen Weltkörpern — einen linsenförmigen Haufen bilden, und die Sonne sich etwas aufserhalb der Mitte desselben befindet. Diesen Nachweis lieferte er in einer „Über den Bau des Himmels" betitelten Schrift [1]).

Ein anderes Objekt, dem Herschel seine Aufmerksamkeit in besonderem Grade schenkte, um dann in der soeben genannten Schrift an seine Beobachtungen die kühnsten Folgerungen anzuknüpfen, sind die Himmelsnebel, Lichtwölkchen, welche auch das schärfste Fernrohr nicht in Sterne aufzulösen vermag. Herschel wies zunächst die grofse Häufigkeit dieser Gebilde nach. Während Halley nur sechs Nebel bekannt waren und ein späteres Verzeichnis [2]) etwa 100 Nummern enthielt, werden in den Jahren 1786 bis 1802 durch Herschel etwa 2500 Nebelflecke katalogisiert, beschrieben und gezeichnet. Eine Fortsetzung dieser Studien verdanken wir Herschels Sohn John, welcher auf einer Expedition [3]) nach dem Kap eine fast ebenso grofse Zahl am südlichen Himmel entdeckte. Zuerst hielt Herschel sämtliche Bildungen dieser Art für Sternhaufen, da sich viele bei Anwendung stärkerer Vergröfserungen in solche auflösen liefsen. Als er jedoch auch deutliche Sterne entdeckte, welche von einem Nebel umgeben waren, der offenbar zu dem Sterne in Beziehung stand, nahm er an, dafs es sich hier um leuchtende Gasmassen handele, welche auch, ohne einen Stern zu umschliefsen, existieren und die Urmaterie zur Bildung neuer Himmelskörper vorstellen. Dementsprechend glaubte Herschel, in dem Zustande, den uns der Fixsternhimmel gegenwärtig darbietet, sämtliche Stadien des Weltbildungsprozesses nachweisen zu können. Spätere, insbesondere spektroskopische Forschungen haben die Richtigkeit dieser kühnen Schlüsse dargethan.

Die Betrachtungen, welche Herschel über die Dimensionen des mit seinem Teleskop durchforschten Raumes anstellte, lieferten, obgleich die damals angenommenen Fixsternparallaxen zu grofs, die entsprechenden Entfernungen daher zu klein waren, den Nachweis, dafs das Licht, um von den entferntesten Objekten des Himmels zu uns zu gelangen, viele tausend Jahre gebraucht, sodafs

---

1) Herschel, On the construction of the heavens. Phil. Trans. 1784. Eine Übersetzung mit einem nach Kants Durchsicht hergestellten Auszug aus Kants Naturgeschichte des Himmels erschien 1791.

2) Messier in den Pariser Memoiren vom Jahre 1771. Catalogue des nébuleuses.

3) 1834—1838.

unsere Teleskope nicht allein den Raum, sondern auch die Zeit durchdringen. Anknüpfend an die von Herschel erhaltenen Ergebnisse konnte deshalb von Humboldt[1]) sagen, dafs das Licht der fernsten Weltkörper das älteste sinnliche Zeugnis von dem Dasein der Materie sei.

Als man das Centennarium der Uranusentdeckung durch die Herausgabe einer Biographie Herschels[2]) feierte, wurde darin mit Recht hervorgehoben, dafs an Herschels Ansicht über den Bau des Himmels nur wenig zu ändern gewesen sei. „Jede astronomische Entdeckung,“ heifst es dort[3]), „und jede gut beobachtete physikalische Thatsache giebt Material für die Ausarbeitung der Einzelheiten oder für die Verbesserung untergeordneter Punkte dieser Ansicht. Als wissenschaftliche Auffassung ist sie vielleicht die grofsartigste, welche jemals der menschliche Geist gewonnen hat.“

Ein Versuch, auf deduktivem Wege zu einer Vorstellung von dem Weltbildungsprozesse, insbesondere der Entstehung unseres Planetensystems, zu gelangen, wurde schon mehrere Dezennien vor dem Erscheinen von Herschels „Bau des Himmels“ in Deutschland durch Immanuel Kant (1724—1804) gemacht. In seiner „allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels“, mit welcher der Leser durch den I. Band bekannt geworden ist[4]), nimmt Kant als Urzustand die feinste Verteilung der Materie durch den ganzen Weltraum an, weshalb man seine Ansicht auch als Nebularhypothese bezeichnet hat. Infolge der Gravitation bilden sich dann Centralkörper. Die benachbarte Materie verdichtet sich gleichfalls um besondere Bildungsmittelpunkte und nähert sich, durch die allgemeine Anziehung getrieben, dem Centrum. Gäbe es nur Anziehung, so müfste eine Vereinigung des Centralkörpers mit den um besondere Punkte sich anhäufenden Massen stattfinden. Unter dem Einflufs einer der Materie gleichfalls innewohnenden abstofsenden Kraft werden die herabsinkenden Massen aber abgelenkt. Der Fall schlägt in eine Wirbelbewegung um, woraus nach Kant die Thatsache ihre Erklärung findet, dafs sämtliche Planeten in nahezu einer Ebene und in derselben Richtung um die Sonne kreisen.

Ähnliche Anschauungen entwickelte etwa vierzig Jahre später

---

1) Siehe Bd. I, Seite 369.

2) Holden, Wilhelm Herschel, Sein Leben und seine Werke. Übersetzt von Valentiner, Berlin 1882.

3) a. a. O. Seite 214.

4) Siehe Band I ds. Grdr., Seite 126.

Laplace in seiner „Darstellung des Weltsystems". Auch mit den Betrachtungen dieses Mannes ist der Leser bereits durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden[1]). Laplace giebt indessen für das Zustandekommen der Rotation keine Erklärung; er geht von einem in dieser Bewegung begriffenen Gasball aus, gelangt aber im wesentlichen zu demselben Ergebnis wie Kant. Beiden Hypothesen gemeinsam ist der Gedanke, dafs die Gestirne, die sich die früheren Zeitalter von ganz besonderem Stoff gebildet dachten, in materieller Hinsicht untereinander und von der Erde nicht wesentlich verschieden sind. Dieses Ergebnis einer spekulativen Naturbetrachtung sollte nicht nur durch die spätere spektroskopische Untersuchung, sondern auch durch die noch im Zeitalter von Herschel und Laplace erfolgende richtige Deutung der Meteoriten ihre Bestätigung finden.

Nachrichten über vom Himmel gefallene Stein- und Eisenmassen reichen bis ins graue Altertum zurück, ohne dafs dadurch bis gegen das 18. Jahrhundert das wissenschaftliche Interesse erregt worden wäre. Um die Mitte jenes Zeitabschnitts waren zwei auffällige Thatsachen zu verzeichnen. Der Sibirien bereisende deutsche Naturforscher Pallas entdeckte 1749 in der Nähe des Jenissei eine 1600 Pfund schwere Eisenmasse, deren Beschaffenheit und Vorkommen darauf hinwiesen, dafs man es in ihr mit einem Naturprodukt zu thun habe[2]). Ferner hatte in Agram im Jahre 1751 einer der am besten beglaubigten Meteoreisenfälle[3]) stattgefunden. Das daselbst gefallene Stück war ausgegraben und dem Wiener Naturalienkabinet einverleibt worden. Der Direktor dieses Instituts wies jedoch die Meinung, dafs die Masse überhaupt als solche gefallen sei, mit Spott zurück. Seiner Ansicht nach sollte sich das Eisen unter dem Einflufs der atmosphärischen Elektricität aus Bestandteilen des Bodens gebildet haben.

In einer 1794 erschienenen Abhandlung, deren Inhalt der Leser der Hauptsache nach durch die Lektüre des I. Bandes kennen gelernt hat[4]), wagte es der deutsche Physiker Chladni, im Gegensatz zu allen gelehrten Zeitgenossen, für die Feuerkugeln einen kosmischen Ursprung zu behaupten und die von Pallas entdeckte und ähnliche Eisenmassen als den Stoff solcher nieder-

---

[1]) Siehe Band I, Seite 134.

[2]) Ein grofses Stück des Pallaseisens findet sich in den Königlichen Sammlungen zu Berlin.

[3]) Siehe Band I ds. Grdr., Seite 144.

[4]) Siehe Bd. I, Seite 139.

gefallenen Feuerkugeln in Anspruch zu nehmen. Chladni wurde zunächst mit Hohn überschüttet. Die französische Akademie sprach sich trotz aller gut beglaubigten Fälle dahin aus, dafs die Nachrichten über derartige Naturerscheinungen in das Gebiet der Fabel zu verweisen seien. Sie wurde indes sehr bald durch die Thatsachen selbst eines Besseren belehrt. In der Normandie trat nämlich am 26. April des Jahres 1803 ein grofser Steinfall ein, der von hunderten beobachtet und von Abgesandten der Akademie selbst in seinen Einzelheiten festgestellt wurde[1]). Die Ausführungen Chladnis wurden nun allgemein als richtig anerkannt. Ja, man ging jetzt in entgegengesetzter Richtung so weit, dafs man sich die Weltkörper durch die Aggregation von Meteoriten entstanden dachte[2]).

Die chemische Analyse war damals weit genug fortgeschritten, um an den Meteoriten unter der Voraussetzung ihres kosmischen Ursprunges den Nachweis zu führen, dafs aufserhalb der Erde befindlicher Weltstoff in seiner elementaren Zusammensetzung mit der irdischen Materie vollkommen übereinstimmt. So entdeckte man[3]), dafs das Meteoreisen stets mehr oder weniger Nickel (bis zu 35 %) enthält und lernte den Gehalt an diesem Metall, sowie die beim Anätzen auftretenden Widmannstättenschen Figuren (von Widmannstätten 1808 entdeckt, derselbe druckte mit den geätzten Flächen seine Figuren naturgetreu ab)[4]) als charakteristische Eigentümlichkeiten des Meteoreisens kennen. Nachdem man neben Nickel auch Kobalt und Kupfer aufgefunden hatte, wurden durch eine Arbeit, welche Berzelius über die Meteoriten veröffentlichte, sechs neue Elemente in denselben nachgewiesen; es waren dies Phosphor, Kohlenstoff, Silicium, Magnesium, Zinn und Mangan. Spätere Untersuchungen haben die Zahl der Bestandteile, welche sämtlich mit irdischen Grundstoffen übereinstimmen, noch vermehrt[5]).

Was Chladni für die Meteoriten leistete, gelang zwei anderen Deutschen namens Benzenberg[6]) und Brandes[7]) hinsichtlich der Sternschnuppen. Durch gleichzeitig an verschiedenen Punkten

---

1) Gilberts Annalen 15,74 und 16,44, 70.

2) Bieberstein 1802.

3) Howard 1802.

4) G. Rose, Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1863. Seite 33.

5) Siehe Band I, Seite 148.

6) Johann Friedrich Benzenberg, 1777—1846.

7) Heinrich Wilhelm Brandes, 1777—1834.

der Erde angestellte Beobachtungen, gelang es ihnen, auch für diese Phänomene, welche man bis dahin auf schweflige Dünste oder brennbare Gase zurückgeführt hatte, einen kosmischen Ursprung nachzuweisen. Benzenberg und Brandes beobachteten Sternschnuppenfälle von den Endpunkten einer 27050 Pariser Fufs langen Standlinie. Indem sie den Ort und die Zeit des Verschwindens genau anmerkten, gelang es ihnen in vielen Fällen, die Identität der beobachteten Objekte nachzuweisen und aus den gewonnenen Daten planetarische Geschwindigkeiten, sowie auf einen kosmischen Ursprung hinweisende Höhen zu ermitteln[1]).

War es der vorhergehenden Periode durch Bradleys Entdeckung der Aberration gelungen, einen sinnlichen Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne zu erbringen, so vermochte Benzenberg, nachdem alle bezüglichen Versuche anderer Forscher mifsglückt waren, einen solchen Nachweis auch für die Rotation zu führen. Bekanntlich bestand einer der Scheingründe gegen die Kopernikanische Weltansicht in der Folgerung, ein frei fallender Körper müsse, da die Erde sich unter ihm fortbewege, einen westlich von seinem Ausgangspunkt gelegenen Ort treffen. Newton wies jedoch darauf hin, dafs bei dem freien Fall infolge der gröfseren Geschwindigkeit in tangentialer Richtung, welche der Körper zu Beginn der Fallbewegung besitzt, im Gegenteil eine östliche Abweichung zu erwarten sei. Den Nachweis für die Richtigkeit dieser von der Theorie erhobenen Forderung erbrachte Benzenberg durch seine 1802 im Michaelisturm zu Hamburg, sowie in einem rheinischen Kohlenschachte angestellten Fallversuche[2]). Bei einer Höhe von 235, beziehungsweise 262 Fufs ergab sich eine deutliche Abweichung von mehreren Linien. Spätere zu dem gleichen Zwecke angestellte Versuche[3]) zeigten bei einer Fallhöhe von 488 Fufs eine rein östliche, der Theorie entsprechende Abweichung von 12,6 Linien.

## 4. Die weiteren Fortschritte der chemisch-physikalischen Forschung während der ersten Dezennien der neuesten Zeit.

In den beiden ersten diese Periode behandelnden Abschnitten lernten wir Umwälzungen und Erweiterungen von epochemachender

[1]) Benzenberg und Brandes, Versuch, die Entfernung, die Geschwindigkeit und die Bahnen der Sternschnuppen zu bestimmen. 1800.

[2]) Benzenberg, Versuche über das Gesetz des Falles. Dortmund 1804.

[3]) von Reich in einem Schacht bei Freiberg.

Bedeutung kennen, welche wohl imstande waren, ein neues Zeitalter zu inaugurieren. Letzteres ist unter anderem auch dadurch charakterisiert, dafs die Physik und die Chemie, seitdem man den Zusammenhang zwischen chemischer Aktion und den elektrischen, sowie den Wärme- und Lichterscheinungen erkannt hatte, in immer engere Fühlung treten. Dies hatte eine Fülle von grundlegenden Entdeckungen zur Folge, welche uns in dem vorliegenden Abschnitt beschäftigen sollen, Entdeckungen, auf denen die um die Mitte des Jahrhunderts entstandene grofsartige Konception von der Einheit der Kraft, sowie unsere heutigen Vorstellungen von dem Wesen der Materie in erster Linie beruhen. Im engsten Anschlufs an diesen Fortschritt entstanden ferner Theorien, welche sich zu einem bleibenden Besitz der Wissenschaft gestaltet haben. Diese Theorien betrafen insbesondere das Gebiet der Wärme- und Lichterscheinungen, auf dem die früher charakterisierte Lehre[1]) von den Imponderabilien durch eine auf mechanischen Prinzipien fufsende Erklärung ersetzt wurde.

Die Vorstellung, dafs wir es in der Wärme nicht mit einem Stoff, sondern mit einer Bewegung der kleinsten Teilchen zu thun haben, begegnet uns, allerdings in blofsen Andeutungen[2]) schon im Beginn der neueren Periode. Die ersten für die seit der Mitte des 19. Jahrhunderts zur Herrschaft gelangende mechanische Theorie der Wärme als grundlegend zu betrachtenden Versuche und Folgerungen gehören indes jener Zeit an, in welcher der jetzt zu schildernde grofsartige Aufschwung der Chemie und der Physik beginnt. Am erfolgreichsten nach dieser Richtung waren die Bemühungen des Amerikaners Rumford[3]). Derselbe wiederholte zunächst den schon von Boyle angestellten gegen die Materialität der Wärme gedeuteten Wägungsversuch. Rumford setzte zwei Flaschen, welche gleiche Mengen Quecksilber und Wasser enthielten, genau ins Gleichgewicht, während die Temperatur der Umgebung 61° betrug. Das Ganze wurde dann in ein Zimmer gebracht, welches eine Temperatur von 34° besafs. Obgleich nun das Wasser, dessen spezifische Wärme etwa 30 mal so grofs ist,

---

1) Siehe Seite 248 ds. Bds.

2) So bei Baco und insbesondere bei Hooke. Siehe die Micrographie des letzteren, pg. 12 (London 1667).

3) Benjamin Thompson wurde in Rumford (New Hampshire) am 26. März 1753 geboren und starb auf einem Landsitz bei Paris am 21. August 1814. Während seines wechselvollen Lebens bekleidete er eine Zeit lang hohe Staatsämter in Bayern, wo er den Titel eines Grafen von Rumford erhielt.

wie diejenige des Quecksilbers, eine viel gröfsere Wärmemenge abgegeben hatte als die letztere Flüssigkeit, zeigte sich dennoch nicht der geringste Ausschlag [1]).

Wollte man trotzdem an der materiellen Natur der Wärme festhalten, so mufste man wenigstens annehmen, dafs ein isoliertes System von Körpern nicht beständig der Umgebung Wärme mitteilen kann, ohne allmählich erschöpft zu werden. Indem Rumford nun durch den Versuch bewies, dafs durch die gegenseitige Reibung zweier Körper unbegrenzte Wärmemengen erzeugt werden, entzog er der soeben erwähnten Voraussetzung von der stofflichen Natur der Wärme den Boden. Über diesen berühmt gewordenen Versuch berichtet Rumford der Royal Society im Jahre 1798 [2]).

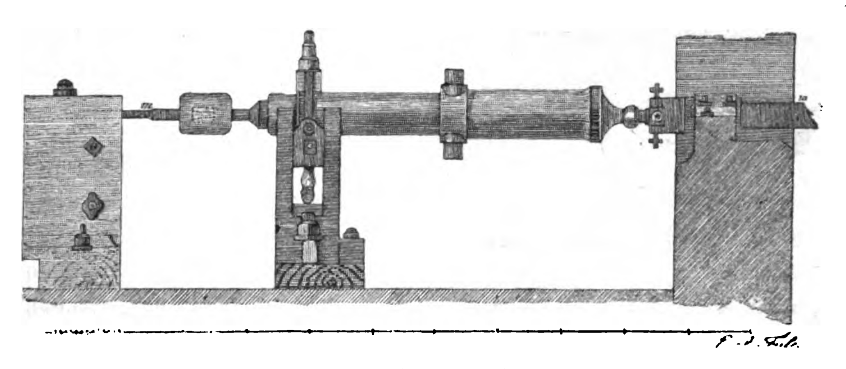


Fig. 66. Die für Rumfords Versuch hergerichtete und in die Bohrmaschine gespannte Kanone. Die Stange w verbindet die Kanone mit dem Göpel.

„Da ich seit kurzem“, beginnt er, „die Oberaufsicht beim Kanonenbohren im Zeughause zu München hatte, so überraschte mich der beträchtliche Wärmegrad, den eine Kanone in kurzer Zeit beim Bohren erhält.“ Wäre die spezifische Wärme der Späne eine geringere als diejenige des kompakten Metalles, so hätte man das Auftreten der Wärme auf einen solchen Unterschied der Kapacitäten zurückführen können. Der Versuch ergab jedoch, dafs Stücke und feine Spänchen desselben Metalles dieselbe spezifische Wärme besitzen. Brachte man nämlich gleiche Mengen derselben, welche auf die Temperatur des kochenden Wassers erhitzt waren, in gleiche Mengen kalten Wassers, so erfuhr das letztere dieselbe Temperaturerhöhung.

1) Philosophical Transactions. 1799.

2) Philosophical Transactions. 25. I. 1798.

Da chemische Prozesse, sowie irgend welche Zuleitung von Wärme bei den Bohrversuchen ausgeschlossen waren, so blieb nichts anderes übrig, als die Ursache der Wärmeentwicklung in der Bewegung zu erblicken. Die weiteren Experimente bezweckten nun den Nachweis, dafs diese Wärmequelle nicht versiegt, solange die Bewegung dauert. Hieran schlofs sich schon das erste Aufdämmern der Erkenntnis, dafs einem gewissen Aufwand an Arbeit eine bestimmte Menge erzeugter Wärme entspricht. Rumford liefs nämlich einen aus Kanonenmetall bestehenden Cylinder von 113,13 Pfund Gewicht in einem Kasten (Fig. 67) rotieren, welcher 18,77 Pfund Wasser enthielt. Wurde die Drehung, bei der ein stumpfer eiserner Bohrer mn gegen das Metall geprefst war, durch die Kraft eines Pferdes bewerkstelligt, so kochte das Wasser nach 2 Stunden und 30 Minuten. „Die Überraschung und das Staunen der Umstehenden, solch eine Wassermasse ohne Feuer zum Kochen gebracht zu sehen, war über alle Beschreibung grofs“, heifst es in dem Berichte Rumfords[1]). Die Rechnung ergab nun, dafs die ganze Quantität der erzeugten Wärme, welche sich auf das Wasser und die Metallstücke verteilte, hinreichend war, um 26,58 Pfund eiskalten Wassers zum Sieden zu bringen, ungerechnet diejenige Wärme, welche während des Versuches verloren ging. Diese Wärmemenge entspricht also nach Rumford einer Pferdekraft. Da nun nach Watt die letztere imstande ist, 33000 Pfund in der Minute einen Fufs hoch zu heben, so würde eine weitere Berechnung gezeigt haben, dafs diejenige Wärme, welche 1 Pfund Wasser um 1° erwärmt, einer mechanischen Leistung von 1034 Fufspfund entspricht. Spätere

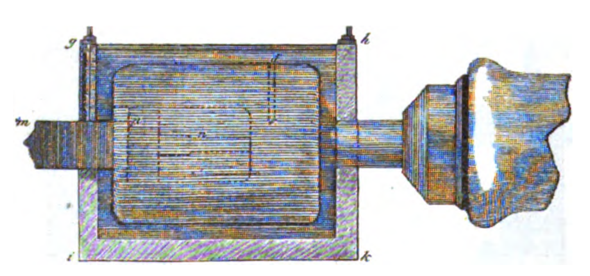



Fig. 67. Der vor der Mündung der Kanone angebrachte hölzerne Kasten. Der stumpfe Bohrer mn wird gegen den Boden des ausgebohrten hohlen Cylinders geprefst, welcher durch einen kurzen Hals mit dem Ende der Kanone verbunden ist.
Die Figuren 66 und 67 sind der unten citierten Abhandlung Rumfords entnommen.

[1]) Rumford, Untersuchung der durch Friktion hervorgebrachten Wärme. Vorgelesen in der Königl. Societät der Wissenschaften, den 25. Januar 1798.

exakte Untersuchungen, welche der Engländer Joule anstellte, haben für dieses Äquivalent den Wert von 772 Fufspfund ergeben. Der beträchtliche Unterschied wird daraus erklärlich, dafs Rumford die Verluste nicht in Rechnung zog, und dafs bezüglich des Arbeitsaufwandes nur eine rohe Annäherung an die von Watt als eine Pferdekraft bestimmte Gröfse vorlag.

Von gleicher Beweiskraft für die Immaterialität der Wärme wie diese Rumfordschen Experimente, war ein von Davy angestellter Versuch. In seinen 1799 veröffentlichten[1] „Untersuchungen über Wärme, Licht und Atmung" teilte dieser Forscher mit, dafs er bei 29° Fahrenheit, also einer unter dem Gefrierpunkt liegenden Temperatur, zwei an Stäben befestigte Eisstücke durch gegenseitige Reibung zum Schmelzen gebracht habe. Obgleich die Wärmekapacität des Schmelzwassers gröfser ist als diejenige von Eis, zeigte ersteres dennoch eine Temperatur von 35° Fahrenheit. Auch Davy schlofs hieraus, dafs die Wärme keine Substanz, sondern eine unmittelbare Folge der Bewegung sei. Er dachte sich die Materie von zwei Kräften, der Attraktion sowie der Repulsion, beherrscht. Die Erscheinungen der Wärme rühren nach Davy, dessen Vorstellungen sich im wesentlichen mit den heute geltenden Anschauungen decken, von einer besonderen Bewegung der Körperteilchen her. Alle festen Körper werden durch heftiges Reiben ausgedehnt, indem ihre Teilchen in vibrierende Bewegung kommen und sich dadurch von einander entfernen. Die verschiedenen Aggregatszustände werden gleichfalls ganz im Sinne der modernen Physik aus dem Verhältnis zwischen Attraktion und Repulsion erklärt. Je nachdem die erstere oder die letztere überwiegt oder beide gleich sind, ist der Körper fest, gasförmig oder flüssig. Die Repulsion kann durch chemische Prozesse oder durch Mitteilung der repulsiven Bewegung benachbarter Körper erregt werden. In letzterem Falle ist die Bewegungsgröfse, welche der eine Körper gewinnt, genau gleich derjenigen, welche der andere verliert. Rumford und Davy waren jedoch ihrer Zeit voraus geeilt. Die von ihnen entwickelte Lehre sollte erst um die Mitte unseres Jahrhunderts durch Mayer, Joule und Helmholtz erneuert und fortentwickelt werden.

Fast zur selben Zeit, als man in Deutschland und England jene über die Natur der Körperwärme entscheidenden Versuche

[1]) In den „Contributions to phys. and medic. Knowledge" collect. by Beddoes. 1799.

anstellte, wurde auch die Lehre von der strahlenden Wärme, welche man schon länger von der körperlichen unterschieden hatte[1]), um eine wichtige Entdeckung bereichert. Wilhelm Herschel bediente sich bei der Beobachtung der Sonne verschiedenartig gefärbter Gläser. Dabei fiel ihm auf, dafs hinter gewissen Gläsern, welche weniger Licht durchlassen, mitunter eine stärkere Wärmeempfindung stattfand, als hinter anderen helleren[2]), sodafs die erwärmende Kraft des Lichtes durchaus nicht von der Intensität desselben abzuhängen schien. Um nun die Frage zu entscheiden, ob die Wärme etwa ungleichmäfsig über die verschiedenen Strahlengattungen verteilt sei, erzeugte Herschel das Sonnenspektrum und brachte ein Thermometer mit geschwärzter Kugel in die verschiedenen Farben, welche er nacheinander durch eine Öffnung fallen liefs. Ein zweites etwas entferntes Thermometer zeigte die Wärme der umgebenden Luft an[3]). Herschel verglich dann die Temperaturerhöhung, welche das Thermometer in gleichen Zeiträumen in den verschiedenen Teilen des Spektrums erfuhr. In derselben Zeit, in welcher es unter im übrigen gleichen Verhältnissen im violetten Teil des Spektrums um $2^0$ stieg, betrug die Zunahme im Grün $3^1/_4{}^0$ und im Rot, wo sie am gröfsten war, $6^7/_8{}^0$. Herschel setzte diese Untersuchung fort und konnte schon einen Monat später[4]) der gelehrten Welt das merkwürdige Ergebnis mitteilen, dafs ein ultraroter Teil des Spektrums existiere, der aus unsichtbaren, Wärme spendenden Strahlen zusammengesetzt sei. Ja, es ergab sich, dafs das Maximum der Wärmewirkung innerhalb dieser unsichtbaren Region gelegen ist.

Dafs die Teile des Spektrums auch hinsichtlich der chemischen Wirkung ein verschiedenes Verhalten zeigen, war schon durch Scheele nachgewiesen worden. Dieser brachte in das Spektrum ein Stück Papier, welches er mit Hornsilber (Ag Cl) überzogen hatte, eine Substanz, von der man wufste, dafs sie am Lichte allmählich geschwärzt wird. Scheele bemerkte[5]) nun, dafs das Hornsilber im Violett weit eher schwarz wird als in den anderen Farben.

---

1) Siehe Seite 260 ds. Bds.

2) Gilberts Annalen. VII. 1801. Seite 137.

3) Philos. Transact. 27. III. 1800, Seite 255. Investigation of the Powers of the prismatic Colours to heat and illuminate Objects.

4) Philos. Trans. 24. IV. 1800, Seite 284. Experiments on the Refrangibility of the invisible Rays of the Sun.

5) Scheele. Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 58. Seite 54.

Dieser einfache Versuch läfst sich als der Anfang der heute so hoch entwickelten Spektralphotographie betrachten. Die Analogie des von Scheele erhaltenen Resultates mit den Ergebnissen Herschels trat noch deutlicher hervor, als 1801 das Vorkommen von chemisch wirksamen Strahlen über das Violett hinaus nachgewiesen wurde [1]). Auch in diesem Falle ergab sich, dafs das Maximum der Wirkung jenseits der Grenzen des sichtbaren Teiles gelegen ist, da die Reduktion des Chlorsilbers hier energischer als im Violett selbst vor sich geht. Die ultravioletten Strahlen wurden daher auch als chemische Strahlen bezeichnet.

Wieder ein Jahr später (1802) wurde die Kenntnis von der Beschaffenheit des Spektrums um eine Entdeckung bereichert, welche von der allergröfsten Tragweite werden sollte. Der Engländer Wollaston [2]), der sich gleichfalls um den Nachweis der ultravioletten Strahlen verdient gemacht hat, bemerkte, dafs das hinter einem feinen Spalt erzeugte Sonnenspektrum von zahlreichen dunklen Linien durchzogen ist. Diese Thatsache wurde von Wollaston jedoch nicht weiter verfolgt; sie blieb vereinzelt und mufste von dem deutschen Optiker Fraunhofer mehr als ein Jahrzehnt später von neuem aufgefunden werden. Fraunhofer knüpfte an seine Entdeckung indes eine ausführliche Untersuchung [3]), durch welche er, ursprünglich zwar Aufgaben der praktischen Optik verfolgend, die Grundlage für die Spektralanalyse schuf. Fraunhofer liefs gleichfalls Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt auf das Prisma fallen. Als er darauf das Spektrum durch ein Vergröfserungsglas betrachtete, zeigte sich eine Unzahl von stärkeren und schwächeren dunklen Linien. Verbreiterte er die Öffnung, so wurden die Linien undeutlich und verschwanden endlich ganz, was er daraus erklärte, dafs bei einer breiteren Öffnung das Licht nicht mehr als ein Strahl anzusehen ist. Fraunhofer überzeugte sich nun, indem er verschiedene brechende Medien wählte, dafs die später nach ihm benannten Linien wirklich in der Natur des Sonnenlichtes liegen. Liefs er das Licht einer Lampe durch dieselbe schmale Öffnung fallen, so zeigte sich keine derartige Linie, während das von der Venus ausgehende Licht sie alle enthielt, ein direkter Beweis, dafs ein Planet nur reflektiertes Sonnenlicht aussendet. In den Spektren der Fixsterne entdeckte

1) Durch Ritter. Siehe Gilberts Annalen, VII. 1801. Seite 525.

2) 1766—1828. Philos. Transact. 1802.

3) Denkschriften der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu München für die Jahre 1814 und 1815.



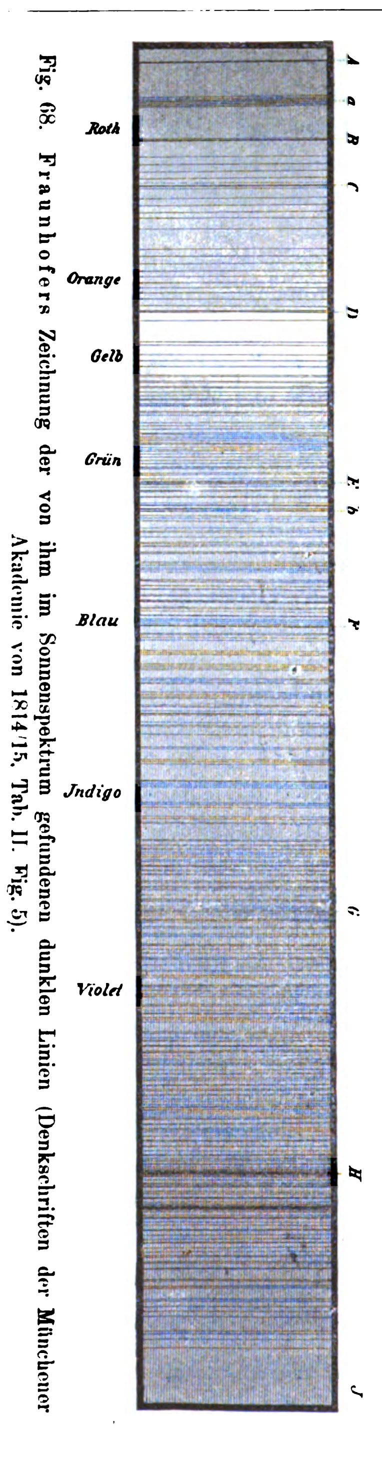



Fig. 68. Fraunhofers Zeichnung der von ihm im Sonnenspektrum gefundenen dunklen Linien (Denkschriften der Münchener Akademie von 1814/15. Tab. II. Fig. 5).

Fraunhofer gleichfalls Streifen, doch stimmten diese, was Lage und Beschaffenheit betraf, mit den Linien des Sonnenspektrums nicht überein; auch schienen ihm die Fixsternspektren unter sich Verschiedenheiten aufzuweisen. Die stärksten Linien des Sonnenspektrums, welche später wieder in Gruppen von Linien aufgelöst wurden, bezeichnete Fraunhofer durch grofse Buchstaben (siehe Fig. 68). A befindet sich im Rot, H im Violett, D an der Grenze von Orange und Gelb u. s. w. Allein in dem Raume zwischen B und H zählte er 574 Linien, von denen jedoch nur die stärkeren in seiner Zeichnung wiedergegeben sind. Von grofser Tragweite war auch Fraunhofers Beobachtung, dafs das Licht einer Lampe zwei helle Linien aufweist, welche mit den beiden D-Linien des Sonnenspektrums zusammenfallen [1]). Der Nachweis, dafs diese hellen Linien durch eine Spur von Natrium hervorgerufen werden, sowie die Beantwortung der Frage, weshalb sie mit den D-Linien zusammenfallen, blieb Kirchhoff und Bunsen vorbehalten, welche auf der von Fraunhofer und einigen anderen Forschern geschaffenen Grundlage seit 1859 die Spektralanalyse zu einem Forschungsmittel allerersten Ranges entwickelt haben.

---

[1]) Fraunhofers Abhandlung in den Denkschriften der Münchener Akademie von 1814/15, Seite 221.

In diesem Zeitraum, in welchem die Optik um so manche wichtige Entdeckung bereichert wurde, sollte auch der alte, an die Namen Newton und Huygens sich knüpfende Streit über das Wesen des Lichtes zu Gunsten der von letzterem vertretenen Theorie entschieden und damit in die Lehre von den Imponderabilien eine zweite Bresche gelegt werden.

Der erste Angriff auf die Emanationstheorie erfolgte im Vaterlande Newtons durch Young[1]), welcher die von Hooke begonnene und von Newton fortgesetzte Untersuchung der Farben dünner Blättchen wieder aufnahm. Jene Folge von hellen und dunklen Streifen oder Ringen, die Newton im homogenen Lichte beobachtet hatte, ohne dafür eine Erklärung finden zu können, welche mehr als eine blofse Umschreibung war, führte Young auf einen Konflikt der von der ersten und zweiten begrenzenden Fläche reflektierten Strahlen zurück. Er bezeichnete diese Erscheinung mit dem noch jetzt dafür gebräuchlichen Namen Interferenz und suchte darzuthun, dafs ein Hinzufügen von Licht zu Licht in analoger Weise Dunkelheit zur Folge haben könne, wie durch das Zusammentreffen von gleichen aber entgegengesetzten Bewegungen, z. B. Schwingungen verschiedener Phase, Ruhe entsteht. Young gelang sogar der Nachweis, dafs die Erscheinung der Interferenz sich auch auf den unsichtbaren ultravioletten Teil des Spektrums erstreckt. Er erreichte dies durch folgende Versuchsanordnung[2]). Der ultraviolette Teil des Spektrums wurde auf eine dünne, zur Erzeugung der farbigen Ringe geeignete Schicht geworfen und von den begrenzenden Flächen so reflektiert, dafs der unsichtbare Reflex auf ein mit Silberlösung getränktes Papier fiel. Nach einiger Zeit entstanden auf demselben die bekannten dunklen Ringe. Das dieser Erscheinung zugrunde liegende Prinzip der Interferenz spricht Young in folgenden Worten aus[3]): „Wenn zwei Wellen verschiedenen Ursprungs sich in gleicher oder in nahezu gleicher Richtung fortpflanzen, so besteht ihre vereinigte Wirkung in der Kombination der einer jeden entsprechenden Bewegung.“ Die Bewegungen, welche das Licht zur Folge haben, geschehen nach Young in einem dünnen aufserordentlich elastischen Äther, der das Weltall erfüllt.

Die Verschiedenheit der Farben erklärte Young aus der

---

1) Thomas Young 1773—1829.

2) Philos. Transact. 1804. Seite 1.

3) Young, On the theory of light and colours. Phil. Transact. 1802. Seite 12.

Häufigkeit der Schwingungen, welche durch jene Bewegung des Äthers in der Netzhaut erzeugt werden. Letztere denkt er sich aus drei verschiedenartigen, die Empfindung der drei Grundfarben vermittelnden Nervenelementen zusammengesetzt. Die Erregung der einen Art von Fasern sollte demgemäfs die Empfindung Rot, die der zweiten die Empfindung Grün geben, während die dritte Art vorzugsweise durch das violette Licht gereizt werden sollte. So wird z. B. homogenes rotes Licht die rotempfindenden Nervenfasern stark erregen, während es auf die beiden übrigen Arten nur eine schwache Wirkung ausübt. Werden alle drei Arten in gleicher Stärke getroffen, so entsteht der Eindruck Weifs. Diese Idee Youngs wurde später von Helmholtz wieder aufgenommen und eingehender begründet[1]).

Wie das Licht, so wurde auch die strahlende Wärme von Young auf die Bewegung des Äthers zurückgeführt. Er nahm an, dafs die Wärmeschwingungen sich einzig durch ihre Länge und die ihnen zukommende Schwingungszahl von den Lichtschwingungen unterscheiden. Die wesentlichste Schwäche der von Young entwickelten Theorie bestand in der schon von Huygens gemachten Annahme, die schwingende Bewegung erfolge in der Fortpflanzungsrichtung. Dafs eine solche Annahme die ursprüngliche war, ist begreiflich, da man zu einer Wellentheorie des Lichtes gelangte, indem man die Licht- und Schallerscheinungen als analoge Vorgänge betrachtete, von denen letztere schon längst auf longitudinale Schwingungen der Luftteilchen zurückgeführt waren.

Diese Schwäche der von Young entwickelten Theorie trat besonders zu Tage, als Malus die Polarisation durch Reflexion entdeckte. Wird ein Lichtstrahl reflektiert oder gebrochen, so werden bekanntlich seine physikalischen Eigenschaften im allgemeinen nicht geändert, sondern er verhält sich geradeso, als ob er von dem leuchtenden Körper käme. Bei der Brechung findet zwar in der Regel eine Zerlegung des zusammengesetzten Lichtes statt, doch besitzt jede der erhaltenen Komponenten ihre ursprünglichen Eigenschaften, was schon Newton dadurch nachwies, dafs er aus diesen Komponenten den weifsen Strahl in seiner früheren Beschaffenheit wieder zusammensetzte. Von dieser Eigenschaft des gewöhnlichen Lichtes gänzlich abweichend ist dagegen, wie auch Newton erkannte, das Verhalten eines Lichtstrahls, welcher die

---

[1]) Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig 1867. Seite 291 u. f.



zu Newtons Zeiten an dem Kalkspat entdeckte Doppelbrechung erlitten hat. Die erhaltenen Strahlen gehen nämlich bei einer bestimmten Lage durch einen zweiten Kalkspatkrystall hindurch, ohne wieder zerlegt zu werden, während bei einer anderen Lage des zweiten Krystalles eine nochmalige Teilung stattfindet. Hieran knüpfte Newton die Bemerkung, ein solcher Lichtstrahl möge wohl verschiedene Seiten besitzen, welche mit von einander abweichenden Eigenschaften begabt seien[1]).

Nahezu ein Jahrhundert sollte es dauern, bis ein Zufall lehrte, dafs derartiges polarisiertes Licht keine vereinzelte, nur an gewissen Mineralien auftretende Erscheinung ist. Es war im Jahre 1808, als der französische Physiker Malus[2]) eines Tages durch einen isländischen Doppelspat nach den von der untergehenden Sonne beleuchteten Fenstern des Palais du Luxembourg blickte. Malus drehte den Krystall und nahm dabei zu seinem Erstaunen wahr, dafs die beiden Bilder, welche derselbe lieferte, abwechselnd ihre Intensität veränderten. Zuerst dachte er an eine Modifikation, welche das Sonnenlicht bei seinem Durchgang durch die Atmosphäre erlitten haben könne; später erkannte er jedoch, dafs in diesem Falle die Reflexion die einzige Ursache der Polarisation des Lichtes ist[3]). Malus fand, dafs unter einem bestimmten, von der Natur der reflektierenden Substanz abhängigen Winkel die Polarisation in solchem Grade stattfindet, dafs von den Doppelbildern, welche der Kalkspat liefert, das eine bei entsprechender Lage des Kalkspats ganz verschwindet. Diese Versuche vermochte Young aus seiner Theorie infolge der erwähnten Schwäche nicht zu erklären, worüber Malus, ein unerschütterlicher Anhänger der Emissionshypothese, grofse Freude empfand[4]). Die endgültige Beseitigung dieser Hypothese gelang erst dem Franzosen Fresnel[5]). Letzterer begann seine Untersuchungen im Jahre 1815 und war schon 1820 imstande, sämtliche Erscheinungen, welche das Licht darbietet, durch die Annahme transversaler Ätherschwingungen zu erklären. In derjenigen Fassung, welche Fresnel der Undulationstheorie verliehen, ist dieselbe in den dauernden Besitz der Wissenschaft

---

1) Newton Optice. Lib. III. Quaestio XXVI: Annon radiorum luminis diversa sunt latera, diversis proprietatibus congenitis praedita?

2) Etienne Louis Malus, 1775—1812.

3) Sur une propriété de la lumière réfléchie. Par M. Malus. Memoire d'Arcueil. II, 143.

4) Aragos Werke III, Seite 117.

5) Augustin Jean Fresnel, 1788—1827.

übergegangen. Ihre Herrschaft erscheint umsomehr gesichert, als es ihr gelungen ist, nicht nur alle später entdeckten Erscheinungen zu deuten, sondern sogar Vorgänge zu beschreiben, deren Existenz erst spätere Versuche dargethan haben[1]).

Neben der Optik nahmen die Forschungen über die Kontaktelektricität die Physiker in den ersten Dezennien des neunzehnten Jahrhunderts vorzugsweise in Anspruch. Kaum hatte man sich mit den hauptsächlichsten Wirkungen der von Galvani entdeckten Naturkraft vertraut gemacht, als man schon eine neue Art der Erregung kennen lernte. Der deutsche Physiker Seebeck[2]) war auf den Gedanken gekommen, zu untersuchen, ob auch zwei Metalle für sich ohne Mitwirkung eines feuchten Leiters einen Strom liefern könnten. Als Seebeck einen Kupferstreifen, dem er die Form eines Bügels gegeben, mit einer Wismutscheibe in Berührung brachte, wurde eine zwischen der letzteren und jenem Bügel befindliche Magnetnadel abgelenkt, ein Beweis, dafs hierbei ein elektrischer Ausgleich stattfand. Die Wirkung war am stärksten, wenn die Metalle unmittelbar mit der Hand berührt wurden, sie blieb dagegen aus, wenn man sich beim Zusammendrücken einer Glasstange oder eines längeren Holzstückes bediente, während sich noch eine schwache Wirkung zeigte, wenn man dünne Zwischenkörper anwandte[3]). Nach diesen Erfahrungen mufste sich der Gedanke aufdrängen, dafs nur die Wärme, die sich der berührten Stelle von der Hand mitteilt, die Ursache jenes durch den Ausschlag der Nadel sich verratenden elektrischen Ausgleichs ist. Künstliche Abkühlung eines der beiden Berührungspunkte ergab denselben Erfolg. Da die unmittelbare Berührung der Metalle neben dem Vorhandensein einer Temperaturdifferenz die wesentliche Bedingung des Gelingens war, so lötete Seebeck seine Stäbe, für welche sich Antimon und Wismut als besonders geeignet erwiesen, zusammen und schuf so das erste Thermoelement. War dasselbe zunächst auch nicht geeignet, einen ergiebigen Strom zu liefern, so wurde es doch in den Händen des Italieners Nobili[4]),

---

[1]) z. B. die von Hamilton abgeleitete und von Lloyd am Aragonit nachgewiesene konische Refraktion. Hamilton in Poggendorffs Annalen. Bd. XXVIII. Llody ebenda.

[2]) Thomas Johann Seebeck, 1770—1831.

[3]) Th. J. Seebeck, Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz. Siehe Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 70, Seite 8 u. f.

[4]) Leopoldo Nobili, 1784—1835.



der eine Anzahl solcher Elemente zur Thermosäule vereinigte, zu einem empfindlichen Instrument, um kleine Temperaturdifferenzen nachzuweisen und durch den Ausschlag eines empfindlichen Galvanometers zu messen. Ein solches erhielt Nobili, als er zwei Nadeln von nahezu gleicher magnetischer Stärke zu einem astatischen Nadelpaare verband [1]). Mit dieser unter dem Namen des Thermomultiplikators bekannten Vereinigung beider Apparate hat dann später Melloni seine Versuche über die Wärmestrahlung angestellt [2]).

Die chemischen Errungenschaften der auf die Begründung der modernen Richtung folgenden Epoche knüpfen sich ihrer Mehrzahl nach an die Namen Gay-Lussac und Berzelius. Louis Joseph Gay-Lussac wurde am 6. September 1778 in einer kleinen Stadt [3]) des mittleren Frankreichs geboren und wurde mit 19 Jahren Schüler der École polytechnique. Da er zu den ausgezeichnetsten Zöglingen dieser Anstalt gehörte, wählte ihn der Chemiker Berthollet, der soeben von einer als Begleiter Bonapartes unternommenen Expedition nach Ägypten zurückgekehrt war, zu seinem Assistenten. Die ersten Lorbeeren, welche sich Gay-Lussac auf dem Felde der Wissenschaft verdiente, hatte er einem eigentümlichen Umstande zu verdanken. Durch die alltägliche Beobachtung, dafs der Rauch unter dem Einflufs warmer Luft im Kamin emporsteigt, waren die Gebrüder Montgolfier auf den Gedanken gekommen, eine Papierhülle durch ein darunter befindliches Feuer zum Emporsteigen zu bringen. Ihrem berühmt gewordenen Versuch vom Jahre 1783, bei welchem sich eine derartige Hülle von 22000 Kubikfufs Rauminhalt durch ein darunter befindliches Strohfeuer auf eine Höhe von etwa 1000 Toisen erhob, waren zahlreiche von mehr oder weniger Erfolg begleitete Auffahrten gefolgt. Auf den Vorschlag des Physikers Charles war man noch in demselben Jahre zur Füllung der Ballons mit Wasserstoff übergegangen. Trotzdem blieb eine Luftreise bei dem Mangel der heutigen Sicherheitsvorrichtungen zunächst ein sehr gewagtes Unternehmen. Als sich die Pariser Akademie im Anfang unseres Jahrhunderts entschlofs, Auffahrten zu wissenschaftlichen Zwecken zu veranstalten, galt es daher, einige jüngere beherzte Forscher zu gewinnen. Die Wahl fiel auf Gay-Lussac und Biot, welche im Sommer des Jahres 1804 einen gemeinschaftlichen

1) Nobili, Sur un nouveau galvanomètre (Bibl. univ. XXV. 1824).

2) Macedonio Melloni, geboren zu Parma 1798, gestorben 1854. La Thermochrôse ou la coloration calorifique. Neapel 1850.

3) St. Léonard in Limousin.

Aufstieg unternahmen, dem bald darauf eine von Gay-Lussac allein ausgeführte Luftreise folgte. In der von dem letzteren erreichten Höhe betrug die Temperatur — 9,5°, während zur selben Zeit in Paris ein im Schatten befindliches Thermometer + 27,5° anzeigte. Die atmosphärische Luft war nach den Analysen, welche Gay-Lussac anstellte, in den oberen Regionen der Atmosphäre von derselben Zusammensetzung wie in der Nähe der Erdoberfläche. Insbesondere war die Aufmerksamkeit der beiden Physiker auf das Verhalten gerichtet, welches die Magnetnadel in grofser Entfernung vom Erdboden zeigt. Die angestellten Schwingungsbeobachtungen ergaben, dafs eine Niveaudifferenz von mehreren tausend Metern die magnetische Kraft nicht merklich beeinflufst. „Biots und Gay-Lussacs Luftfahrten", schrieb später Arago[1]), „werden im Andenken der Menschen fortleben als die ersten derartigen Unternehmungen, welche behufs Lösung wissenschaftlicher Aufgaben mit entschiedenem Erfolge ausgeführt worden sind."

Die Analyse der atmosphärischen Luft und die Zuverlässigkeit der hierzu benutzten Mittel waren zu der Zeit, als Gay-Lussac seine Thätigkeit begann, viel umstritten. Insbesondere war der Glaube verbreitet, dafs der Gehalt an Sauerstoff schwankend und für die Güte der Luft bestimmend sei. Die zur Ermittlung des Sauerstoffgehaltes ersonnenen Apparate wurden daher Eudiometer (Luftgütemesser) genannt. Das erste Eudiometer rührt von Priestley her; es beruhte auf dem Verhalten von Stickoxyd gegen Sauerstoff[2]) und wurde von Fontana (1774) verbessert. Weit zuverlässigere Resultate erhielt man jedoch bei dem von Lavoisier in Vorschlag gebrachten Verfahren[3]). Dasselbe bestand darin, dafs ein abgemessenes Luftquantum über Quecksilber abgesperrt und mit Phosphor in Berührung gebracht wurde. Durch die langsame Oxydation dieser Substanz wurde der Sauerstoff völlig gebunden, und die Luft erlitt eine dementsprechende Verminderung. Im wesentlichen auf demselben Prinzip beruhte das von Volta vorgeschlagene Eudiometer: Die zu untersuchende Luft wurde mit Wasserstoff zusammengebracht. War dieses Gas in hinreichender Menge vorhanden, so rifs es bei der durch einen elektrischen Funken bewirkten Explosion des Gasgemisches den gesamten Sauerstoff der Luft an sich. Auch Alexander von Hum-

[1]) Aragos Werke, Bd. III, Seite 14.
[2]) Siehe Seite 290 ds. Bds.
[3]) Annales de chimie IX. 1791. pg. 239.

boldt, welcher nach der im Jahre 1804 erfolgten Rückkehr von seiner grofsen südamerikanischen Reise seinen Wohnsitz in Paris genommen hatte, beschäftigte sich mit eudiometrischen Bestimmungen. Nachdem ihm Gay-Lussac als derjenige Physiker vorgestellt worden war, welcher, um wissenschaftliche Fragen zu lösen, ohne Furcht zu der gröfsten bisher von Menschen erreichten Höhe aufgestiegen sei, schlossen beide ihrer aufserordentlichen Leistungen wegen gefeierten Männer ein enges Freundschaftsbündnis. Die schönste Frucht desselben war eine gemeinsame, 1805 veröffentlichte Arbeit über die eudiometrischen Mittel und über das Verhältnis der Bestandteile der Atmosphäre[1]. Diese Arbeit ergab, dafs Voltas Eudiometer das schätzbarste Instrument für die Analyse der Luft sei. Ein wichtiges Nebenresultat war der Nachweis, dafs sich der Sauerstoff mit dem Wasserstoff nach dem einfachen Volumverhältnis 1 : 2 verbindet.

Während sich der vielseitige Geist von Humboldts neuen Aufgaben zuwandte, vertiefte sich Gay-Lussac weiter in das Studium der Gase, über deren chemisches und physikalisches Verhalten wir ihm eine Fülle von Entdeckungen verdanken. Seine erste Arbeit über diesen Gegenstand war auf Berthollets Anregung entstanden, als Gay-Lussac noch Schüler der „École des Ponts et Chaussées“ war. Sie handelte von der Ausdehnung gas- und dampfförmiger Körper[2] und lieferte den nicht nur in praktischer Hinsicht, sondern auch für die Theorie äufserst wichtigen Nachweis, dafs „alle Gasarten und Dämpfe bei derselben Temperaturerhöhung, unter im übrigen gleichen Umständen, in gleichem Grade ausgedehnt werden“. Gay-Lussacs Untersuchung erstreckte sich auf Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Ammoniak, Schwefeldioxyd, Kohlendioxyd und Ätherdampf. Nach seinen Messungen betrug die Volumzunahme dieser Gase bei einer Temperaturerhöhung von 0 auf 100 Grad 0,375 des ursprünglichen Volumens. Durch spätere Bestimmungen ist dieser Ausdehnungskoeffizient zu 0,366 (oder für eine Temperatursteigerung von $0^0$ auf $1^0$ zu $0{,}00366 = \frac{1}{273}$) ermittelt worden.

[1] Journal de Physique, 60. Seite 129—158. Neuerdings veröffentlicht im 42. Bande von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann, 1893.

[2] Recherche sur la dilatation des gases et des vapeurs (Ann. chim. et phys. XLIII, 1802). Diese Abhandlung wurde neuerdings im 44. Bande von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften in deutscher Übersetzung herausgegeben.



Nach Beendigung ihrer gemeinsamen Arbeit unternahmen Gay-Lussac und Humboldt eine italienische Reise. Von Rom, für dessen Kunstschätze sich ihnen im Verkehr mit einem Rauch und einem Thorwaldsen der Sinn erschlofs, machten die Freunde in Begleitung des Geologen Leopold von Buch einen Abstecher nach Neapel, wo sie Zeugen einer grofsartigen, von einem furchtbaren Erdbeben begleiteten Eruption wurden. Auch in chemischer Hinsicht war diese Reise nicht ohne Ausbeute. So machte Gay-Lussac in Neapel die wichtige Entdeckung, dafs die im Wasser gelöste Luft einen weit gröfseren Sauerstoffgehalt (etwa 30%) als die atmosphärische Luft (21%) besitzt. Nachdem die Reisenden vor dem Verlassen des italienischen Bodens noch Volta aufgesucht hatten, trafen sie in Berlin ein, wo beide im Hause von Humboldts den Winter verlebten. Nach Paris zurückgekehrt, beschäftigte sich Gay-Lussac zunächst mit der Frage, ob seine Vermutung zutreffend sei, dafs nicht nur Wasserstoff und Sauerstoff, sondern auch die übrigen Gasarten sich nach einfachen Raumverhältnissen miteinander verbinden. Mit dem Gange dieser Untersuchung ist der Leser durch den 40. Abschnitt des I. Bandes schon vertraut geworden. Gay-Lussacs Mutmafsung wurde vollauf bestätigt. Er konnte im Jahre 1808 verkünden, dafs die Gase sich nicht nur nach einfachen Raumverhältnissen vereinigen, sondern dafs auch das Volumen der entstandenen Verbindung zu demjenigen der in die Verbindung eingehenden Gase in einem ebenso einfachen Verhältnis steht[1]. So nimmt der Wasserdampf, welcher sich durch das Zusammentreten von zwei Raumteilen Wasserstoff und einem Raumteil Sauerstoff bildet, unter gleichen Druck- und Temperaturbedingungen 2 Volumina ein, sodafs bei seiner Entstehung eine Verdichtung von 3 auf 2 stattfindet. Dieses von Gay-Lussac entdeckte Volumgesetz ist die Grundlage für die Avogadrosche Hypothese und damit für die weitere Entwicklung der theoretischen Chemie geworden.

Als die Kunde von der Entdeckung der Alkalimetalle nach Frankreich gekommen war, stellte Napoleon der polytechnischen Schule die Mittel zur Beschaffung einer gewaltigen Voltaschen Säule zur Verfügung. Noch bevor diese in Thätigkeit gesetzt werden konnte, gelang es jedoch Gay-Lussac, Kalium und

[1]) Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres (Mém. de la société d'Arcueil, 1809). In der Übersetzung herausgegeben in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, Bd. 42, Leipzig Engelmann, 1893.



Natrium durch Glühen ihrer Karbonate mit Kohle, also auf rein chemischem Wege, ohne Zuhülfenahme der Elektricität darzustellen. Seine mustergültige Untersuchung des Jods und der Jodide hat der Leser gleichfalls kennen gelernt[1]). Gay-Lussacs Arbeiten über die Schwefelsäure, um deren fabrikmäfsige Darstellung er sich durch die Einführung des sogenannten Gay-Lussac-Turmes sehr verdient gemacht hat, sowie die durch ihn erfolgte Begründung des Titrierverfahrens sind für die Entwicklung der chemischen Technik von gröfstem Einflufs gewesen. Doch auch die Chemie der organischen Verbindungen erfuhr durch Gay-Lussac eine bedeutende Förderung. Für die Analyse dieser Substanzen, welche vor ihm in den Kinderschuhen stak, brachte er das Kupferoxyd als Verbrennungsmittel in Anwendung, während seine Arbeit über die Cyanverbindungen ein Muster für spätere Untersuchungen organischer Körper gewesen ist. Gay-Lussac lieferte in dieser Arbeit den Nachweis, dafs die von Scheele aus dem gelben Blutlaugensalz gewonnene Blausäure eine dem Chlorwasserstoff analoge Hydrosäure ist, in welcher ein aus Kohlenstoff und Stickstoff bestehendes Radikal, das den Namen Cyan erhielt, an die Stelle von Chlor tritt[2]). Indem er weiter zeigte, dafs dieses Radikal auch in anderen Substanzen die Stelle eines Elements vertritt, eröffnete er die Reihe jener Bemühungen, welche darauf hinausliefen, sämtliche organischen Verbindungen auf Atomkomplexe zurückzuführen. Dieses Bestreben hat dann später seinen Höhepunkt in der Forscherthätigkeit Liebigs erreicht, der die organische Chemie als die Chemie der zusammengesetzten Radikale definierte[3]).

Am 9. Mai des Jahres 1850 starb Gay-Lussac. Sein Leben ist reich an wissenschaftlichen, durch stete Arbeit erzielten Erfolgen gewesen, es konnte aber auch in jeder anderen Hinsicht als vorbildlich gelten. Arago, welcher in der Akademie Gay-Lussac einen Nachruf widmete, schlofs mit dem schönen Lobe: „Er ehrte Frankreich durch seine moralischen Eigenschaften und diese Akademie durch seine Entdeckungen. Sein Name wird mit Bewunderung und Hochachtung in allen Ländern genannt werden, in denen man die Wissenschaften pflegt[4]).“

---

1) Siehe Bd. I ds. Grdr., Seite 240.

2) Gay-Lussac, Recherches sur l'acide prussique. Annales de chimie. XCX. 1815. Seite 136—231.

3) Liebig, Handbuch der organischen Chemie, Seite 1.

4) Aragos Werke, III, Seite 57.

Von den in diesem Abschnitt dargestellten Fortschritten wurde zunächst keine Wissenschaft in solchem Grade beeinflufst wie die Mineralogie, deren Abhängigkeit von der Chemie schon wiederholt hervorgehoben ist. Ein besonderes Interesse beanspruchte die Form der Mineralien. An die Stelle der blofsen Beschreibung trat jetzt das Bestreben, die verwirrende Vielheit der Gestalten auf wenige Grundgesetze zurückzuführen. Gefördert wurde dieses Streben dadurch, dafs in dem von Wollaston erfundenen Reflexionsgoniometer (1809) ein Werkzeug zum genauen Studium auch der kleineren Krystalle entstand, welches alle früheren Hülfsmittel übertraf. Von Bedeutung für die weitere Entwicklung der Mineralogie waren auch die Lehren Hauys. Nach Hauy[1]) hängen die Struktur und die Form eines Krystalles nur von der Gestalt der ihn zusammensetzenden Teilchen, sowie von deren Anordnung ab. Unter den Formen, in denen eine krystallisierte Substanz auftritt, giebt es danach eine, welche als die primitive betrachtet werden mufs. Aus dieser lassen sich sämtliche Gestalten als sekundäre Formen ableiten.

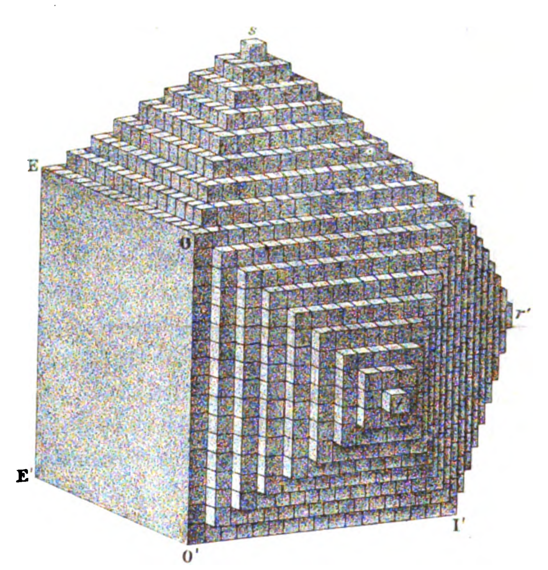



Fig. 69. Hauys Ableitung des Rhombendodekaeders (Hauy, Traité de minéralogie V. Pl. VIII).

Als primitiv betrachtet Hauy die aus der Zertrümmerung des Krystalls hervorgehende Spaltform, auf deren Konstanz er hinwies. Fig. 69 und 70 z. B. zeigen, wie das Rhombendodekaeder und das Pentagondodekaeder durch verschiedenartigen Aufbau aus dem Würfel hervorgehen. Solche Betrachtungen führten Hauy auch zu der Entdeckung des die Krystallwelt beherrschenden Grundgesetzes von der Rationalität der Achsenabschnitte.

Während der ersten Dezennien des neunzehnten Jahrhunderts.

[1]) Hauy, Essai d'une théorie sur la structure des cristaux. Paris. 1784

vollzog sich dann die feste Begründung der Krystallographie. Weiſs entdeckte das Gesetz der Hemiedrie, nachdem schon vor ihm die Bemerkung gemacht worden war[1]), das Pentagondodekaeder gehe aus dem Pyramidenwürfel hervor, wenn „die Gesetze nur zur Hälfte wirken". Weiſs und Naumann schufen ferner fast zur selben Zeit, als Berzelius die chemische Zeichensprache ins Leben rief, einfache, auf der Annahme von Achsen begründete Bezeichnungen, welche einen klaren Überblick über die Ergebnisse der krystallographischen Forschung ermöglicht und dadurch zu einer Fortsetzung derselben angeregt haben. Seitdem in der mineralogischen Systematik die besonders durch Berzelius geförderte chemische Richtung gesiegt hatte, lehrte die mit vielem Eifer betriebene Analyse zahlreiche neue Mineralien kennen, sodaſs die Zahl derselben sich in dem Zeitraum von dem Tode Werners bis zum Erscheinen der Geschichte der Mineralogie v. Kobells (1817—1864) fast verdreifachte. Durch das Zusammenwirken von Analyse und Krystallbeschreibung gelangte man auch zur Entdeckung neuer wichtiger Beziehungen. Zwei bekannte Mineralien, Kalkspat und Aragonit, welche man bis dahin oft verwechselt hatte, treten, wie Hauy nachwies, in Formen auf, die nicht aufeinander zurückgeführt werden können. Nun zeigte der um die Mineralanalyse hoch verdiente Deutsche Klaproth[2]), der Entdecker von Strontium und Uran, daſs beide Mineralien ihrer chemischen Natur nach dasselbe, nämlich Calciumkarbonat, sind. Daſs ein und dieselbe Substanz zwei verschiedene Mineralien bilden könne, wurde aber von vielen geradezu für

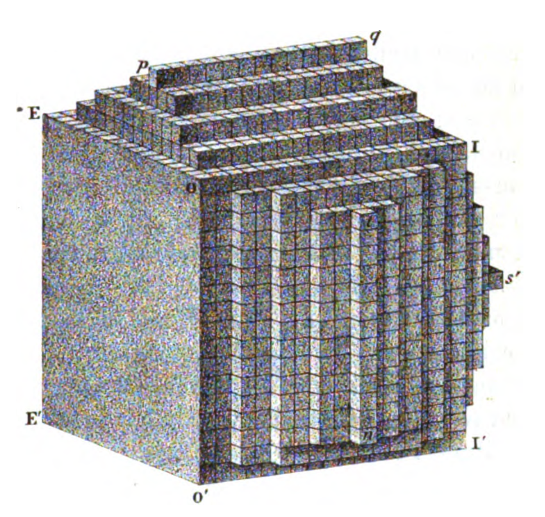


Fig. 70. Hauys Ableitung des Pentagondodekaeders (Hauy, Traité de minéralogie. V. Pl. VIII).

1) Bernhardi 1807.
2) Martin Heinrich Klaproth, 1743—1817.

unmöglich gehalten. Auch Hauy vermochte eine solche Annahme mit den von ihm entwickelten Ansichten nicht zu vereinigen. Man dachte daher zunächst, die Verschiedenheit in der Form und in den physikalischen Eigenschaften von Kalkspat und Aragonit werde durch Beimengungen hervorgebracht, und triumphierte, als man in dem Strontium einen regelmäfsigen Bestandteil des Aragonits nachgewiesen zu haben glaubte. Bald darauf fand man jedoch Aragonit ohne einen Gehalt an Strontium und konnte sich nun nicht länger sträuben, die neu entdeckte Thatsache, welche man als Dimorphie bezeichnete, anzuerkennen.

Auch das entgegengesetzte Verhalten, dafs zwei Mineralien von verschiedener Zusammensetzung, wie Kalkspat und Eisenspat, in derselben Form krystallisieren, wurde beobachtet. Hauy glaubte indessen mathematisch beweisen zu können, dafs verschiedene Substanzen, abgesehen von denjenigen, welche regulär krystallisieren, nicht dieselbe Form besitzen können. Nach ihm sollte sich der Kalkspat unter Beibehaltung der Gestalt in Eisenspat umwandeln, also eine ähnliche Entstehung nehmen wie das versteinerte Holz. Da kam Mitscherlich und zeigte, dafs die von ihm Isomorphie genannte Erscheinung auch an künstlich dargestellten Verbindungen, z. B. an den Salzen, welche Phosphorsäure und Arsensäure mit demselben Metalle bilden, auftritt. Auch Eisensulfat und Kobaltsulfat stimmen nach der Untersuchung[1]) Mitscherlichs in ihrer Form vollkommen überein. An den Eisenspat schlossen sich ferner Zink- und Manganspat als gleichfalls dem Kalkspat isomorphe Mineralien an. Aus den angeführten Beispielen geht schon zur Genüge hervor, dafs es Verbindungen von analoger chemischer Zusammensetzung sind, an welchen Mitscherlich Isomorphie beobachtete. Letztere wurde nun von ihm, sowie insbesondere von Berzelius auch umgekehrt als Mittel benutzt, um eine Übereinstimmung in der atomistischen Konstitution der untersuchten Verbindungen nachzuweisen. „Ich hoffe“, schliefst Mitscherlich seine berühmte Abhandlung vom Jahre 1819, in welcher er die Lehre von der Isomorphie begründete, „dafs das Studium der Krystallisation ebenso bestimmt wie die chemische Analyse das Verhältnis der Bestandteile der Körper angeben wird.“ Dem-

[1]) Mitscherlich, Über die Krystallisation der Salze. Abhandlungen der Berliner Akademie 1818/19. Mitscherlichs im Jahre 1821 veröffentlichte Untersuchung über das Verhältnis zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Krystallform arseniksaurer und phosphorsaurer Salze erschien als 94. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig. 1898.

gemäfs erblickte Berzelius in den Mengen der sich entsprechenden Elemente (z. B. Kobalt und Eisen in ihren Sulfaten), welche mit einem bestimmten Gewichte Sauerstoff verbunden sind, die relativen Atomgewichte.

Mitscherlich ist auch der erste Nachweis zu verdanken, dafs die Dimorphie gleichfalls an künstlichen Verbindungen auftritt und von den physikalischen Umständen abhängt, unter denen die Krystallisation vor sich geht[1]). So erhielt er Schwefel in verschiedenen Formen, je nachdem derselbe aus einer Lösung oder aus dem Schmelzflufs erstarrte. Ähnlich wurde später die Dimorphie von Calciumkarbonat erklärt[2]). Fällt man diese Substanz bei gewöhnlicher Temperatur, so weist sie die Gestalt des Kalkspats auf, während sich Aragonitkryställchen bilden, wenn der Niederschlag aus einer heifsen Lösung entsteht.

Wie die chemische Konstitution, so wurde nun auch das physikalische, und zwar insbesondere das optische Verhalten mit der Form der Mineralien in Beziehung gebracht. Als Huygens seine Abhandlung über das Licht schrieb, war die Doppelbrechung nur am isländischen Kalkspat und am Quarz bekannt. Später entdeckte man sie auch an anderen Substanzen, indem man von kleinen Körpern, z. B. von der Spitze einer Nadel, ein doppeltes Bild erhielt. War die Divergenz der Strahlen nur klein, so entging sie entweder gänzlich der Beobachtung oder das Ergebnis war ein zweifelhaftes. Dies wurde anders, als Arago die chromatische Polarisation auffand[3]). Jetzt genügte es, ein dünnes Blättchen im polarisierten Licht zu untersuchen, um über die Beschaffenheit des betreffenden Minerales Aufschlufs zu erlangen. Die Beziehung zwischen der Krystallform und dem optischen Verhalten konnte seitdem nicht länger verborgen bleiben. Man erkannte, dafs alle regulären Substanzen das Licht einfach brechen, aber durch Zusammenpressen doppeltbrechend gemacht werden können. Eine derartige gewaltsame Änderung konnte nur bewirkt haben, dafs die Moleküle in der einen Richtung einander genähert, in einer dazu senkrechten von einander entfernt wurden, woraus man wiederum schlofs, dafs die Anordnung der Moleküle die Ursache des optischen Verhaltens der doppeltbrechenden Krystalle sei.

---

1) Abhandlungen der Berliner Akademie 1822/23, Seite 43 ff.

2) Rose, 1837.

3) Arago, Mémoires de l'Institut de France. 1811.

## 5. Die Zoologie und die Botanik werden auf die Grundlage des natürlichen Systems gestellt.

Wie für die chemisch-physikalische Forschung, so begann auch für die beschreibenden Naturwissenschaften mit der Wende des 18. Jahrhunderts eine neue Zeit. Während der auf Linné folgenden Decennien waren alle Bemühungen so sehr auf die Ausfeilung des von diesem Manne geschaffenen Systems gerichtet gewesen, dafs das eigentliche Ziel der Naturforschung, welches doch in der Erkenntnis des Zusammenhanges der Erscheinungen besteht, darüber fast aus dem Auge verloren wurde. Endlich besann man sich, dafs man in dem künstlichen System nichts mehr als ein blofses Register besitze und von der Erreichung jenes Zieles noch unendlich weit entfernt sei. Diese Einsicht begegnet uns zunächst nur in einzelnen hervorragenden Köpfen. Wie die Neugestaltung der Chemie, so begann die Umbildung der beschreibenden Naturwissenschaften in Frankreich, dem Lande, welches gleichzeitig mit der gröfsten Entfaltung seiner Volkskraft den belebendsten Einflufs auf die Wissenschaften ausgeübt hat.

Die Forderung eines die Verwandtschaft zum Ausdruck bringenden Systems hatte schon Linné erhoben, indem er eine Anzahl Gruppen bildete, welche natürlichen Verwandtschaftskreisen entsprachen. Diese Gruppen umfafsten jedoch nicht das gesamte Pflanzenreich; sie wurden von Linné ferner nur benannt und aufgezählt [1]), kurz, das Ganze war ein blofser Versuch, welcher zu einer Fortsetzung in der eingeschlagenen Richtung ermuntern sollte. Dieser Anregung haben dann die beiden Jussieus, aus deren Händen das natürliche System hervorging, Folge geleistet.

Bernard de Jussieu (1699—1777), Professor am Jardin royal in Trianon, schlofs sich bei der Aufstellung seiner Gruppen eng an das von Linné hinterlassene Fragment an. Jussieu dehnte jedoch die Einteilung nach natürlichen Verwandtschaftsverhältnissen, die er auch in den Anpflanzungen des Jardin royal zum Ausdruck brachte, mit den Kryptogamen beginnend und daran die Monokotylen, die Dikotylen und endlich die Koniferen anschliefsend über das gesamte Pflanzenreich aus. Sein Neffe Antoine Laurent de Jussieu (1748—1836), Professor am Jardin des plantes zu Paris, setzte diese auf die Begründung eines natürlichen Systems gerichteten Bemühungen fort. Sein Verdienst bestand

[1]) Linné, Philosophia botanica. 1751.



darin, dafs er die Anzahl der natürlichen Gruppen (Familien) nicht nur vergröfserte, sondern die jeder Gruppe gemeinschaftlichen Merkmale, die Familiencharaktere, klar erkannte und scharf hervorhob. A. L. de Jussieus systematisches Hauptwerk[1]) erschien im Jahre 1789. Es beginnt mit den Akotyledonen (Kryptogamen), welche die Gruppen der Pilze, Algen, Lebermoose, Moose und Farne umfassen. Die Monokotyledonen werden nach der Stellung der Staubgefäfse zu dem Fruchtknoten in drei Reihen zerlegt; sie umfassen insgesamt 16 Familien, von denen wir als die bekanntesten die Gräser, Palmen, Lilien, Narcissen und Orchideen anführen. Die Dikotyledonen teilt Jussieu zunächst nach der Beschaffenheit der Blumenkrone in mehrere Hauptgruppen, welche dann wieder nach der Stellung des Fruchtknotens zu den übrigen Organen der Blüte in Unterabteilungen zerfallen. So gehören die Lippenblüter (Labiatae) mit 14 anderen Familien zu einer solchen Unterabteilung. Das Gemeinsame dieser 15 Familien besteht darin, dafs die Krone der Blütenachse unterhalb des Fruchtknotens eingefügt ist. Gleichzeitig ist die Krone bei diesen 15 Familien verwachsenblättrig; letztere werden daher mit anderen Gruppen von Familien zur Abteilung der Verwachsenblättrigen (Monopetalen) zusammengefafst. Den Monopetalen gleichwertig sind die Polypetalen (Vielkronenblättrige) und die Apetalen (Kronenblattlose). Das System Jussieus nennt unter den Polypetalen die Doldengewächse (Umbelliferae), die Hahnenfufsgewächse (Ranunculaceae), die Kreuzblüter (Cruciferae), die Rosengewächse (Rosaceae) und andere hervorragend wichtige natürliche Gruppen. Im ganzen umfafst es 100 solcher Familien, von denen auf die Polypetalen allein fast die Hälfte entfallen.

Dieses System vom Jahre 1789 hat zwar manche Verbesserung erfahren, ist aber doch die Grundlage für alle späteren systematischen Bemühungen geblieben, unter denen diejenigen des Genfer Botanikers Pyrame Decandolle (1778—1841) in erster Linie hervorgehoben werden müssen. Decandolle vermehrte in seinem System vom Jahre 1819 die Zahl der Familien auf 161 und lieferte in Gemeinschaft mit einer Anzahl Fachgenossen eine ausführliche Beschreibung aller bis dahin bekannt gewordenen Species, das grofsartigste Unternehmen, welches die botanische Systematik aufzuweisen hat[2]).

---

1) Genera plantarum.

2) Prodomus systematis naturalis.

Es gelang Decandolle indes ebensowenig wie Jussieu eine scharfe Bestimmung und richtige Bewertung der Hauptgruppen des Pflanzenreiches zu geben. Dieses wurde erst dadurch ermöglicht, dafs man sich nach dem Wiederaufleben der lange vernachlässigten mikroskopischen Forschung den schwer zugänglichen Formverhältnissen der Kryptogamen zuwandte. Jetzt erst wurde es klar, dafs die schon von Ray in Vorschlag gebrachte Gegenüberstellung dieser Gruppe der Gesamtheit der übrigen Pflanzen gegenüber berechtigt ist, und dafs die grofsen Abteilungen, in welche die Kryptogamen zerfallen, den Monokotyledonen und den Dikotyledonen gleichwertig sind. Das volle Verständnis der natürlichen Verwandtschaft, welche bei Jussieu und Decandolle ein blofser, mit dem Dogma von der Konstanz der Arten schwer vereinbarer Begriff geblieben war, wurde aber erst ermöglicht, als das in den vierziger Jahren beginnende Studium der Entwicklungsgeschichte im Verein mit der Lehre vom Transformismus dem Worte „Verwandtschaft" einen realen Sinn verlieh, und das System als das Endergebnis einer zusammenhängenden, von einem gemeinsamen Ursprung ausgehenden Folge von Entwicklungsvorgängen erschien.

Auf zoologischem Gebiete hatte Buffon (1707—1788), der in seiner Naturgeschichte [1]) nicht nur vortrefflich zu schildern, sondern auch allgemeine Gesichtspunkte hervorzuheben verstand, die Idee eines einheitlichen, das gesamte Tierreich beherrschenden Planes aufgestellt. Buffon ging sogar noch weiter. Nach seiner Meinung [2]) giebt es keinen wesentlichen Unterschied zwischen Tier und Pflanze, sondern es besteht eine ununterbrochene Stufenfolge zwischen dem vollkommensten Tier und dem niedrigsten pflanzlichen Lebewesen. Jener Plan, nach welchem der Mensch und die übrigen Geschöpfe gebaut sein sollten, läfst nach Buffon erkennen, dafs alle Wesen nach einem Urbild geschaffen und unter diesem Gesichtspunkt betrachtet die Glieder einer grofsen Familie sind. Buffons Ausführungen blieben, weil die damaligen anatomischen Kenntnisse gänzlich unzureichend waren, um in dieser Frage einen Entscheid herbeizuführen, zunächst nichts weiter, als eine geistreiche Hypothese. Und wenn die Idee von der Einheit der tierischen Organisation auch in Geoffroy Saint Hilaire (1772—1844) einen eifrigen Verfechter fand, dem selbst ein Goethe Beifall zollte, so konnte

---

[1]) Buffon, Histoire naturelle, générale et particulière, 1749—1788.
[2]) Histoire naturelle, II, 4.



sie den Ergebnissen der anatomischen Forschung eines Cuvier gegenüber doch nicht Stand halten.

Faſst man die Fortschritte der Zoologie, der vergleichenden Anatomie und der Paläontologie während des neuesten, mit dem 19. Jahrhundert beginnenden Entwicklungsganges dieser Wissenschaften ins Auge, so wird das Interesse in erster Linie sich dem zuletzt genannten Manne zuwenden, dem wir deshalb wie Gay-Lussac, dem Meister der chemisch-physikalischen Forschung jener Zeit, eine biographische Behandlung angedeihen lassen wollen.

Georg Cuvier wurde am 24. August des Jahres 1769 zu Mömpelgard (Montbéliard), welches damals eine württembergische Enklave der Franche Comté war, geboren und starb in Paris am 13. Mai 1832. Cuvier zeigte schon als Knabe auſserordentliche Anlagen. Nachdem er das Gymnasium absolviert hatte, wurde der Herzog Karl Eugen, welcher gern junge Talente förderte, auf ihn aufmerksam gemacht; so kam Cuvier 1784 zur Karlsakademie, um dort Kameralia zu studieren. Schon vorher hatte er sich jedoch, angeregt durch das Lesen der Werke Buffons, mit groſser Vorliebe den Naturwissenschaften zugewandt. Auf der Karlsschule fand er neben seinen Berufsstudien noch Zeit, unter den Zöglingen einen naturwissenschaftlichen Verein ins Leben zu rufen, welcher sich die Aufgabe stellte, die Pflanzen und Tiere der Umgegend zu sammeln und nach Linnés „Systema naturae" zu bestimmen. Im Jahre 1788 verlieſs Cuvier die Akademie und wurde Hauslehrer bei einem in der Normandie lebenden Grafen, der den Sommer stets an der See zubrachte. Cuvier fand hier Gelegenheit und Muſse, seine Studien auf die Tierwelt des Meeres auszudehnen. Er untersuchte den inneren Bau der Weichtiere, Krebse, Seesterne, Seeigel u. s. w. und gelangte zu der Überzeugung, daſs die Vereinigung dieser so verschiedenartigen Geschöpfe in eine Klasse, wie es bei Linné der Fall war, sich nicht länger aufrecht erhalten lieſs. Nachdem Cuvier vier Jahre in der Stille gearbeitet hatte, wurde er von einem durch die Stürme der Revolution nach der Normandie verschlagenen Pariser Gelehrten[1]) sozusagen erst entdeckt. Dieser schrieb an seine wissenschaftlichen Freunde, einen tüchtigeren Mann für vergleichende Anatomie wie Cuvier würde man nicht gewinnen können. So kam denn letzterer im Jahre 1795 nach Paris, wo er Professor an der École centrale wurde.

Nachdem man gegen das Ende des 18. Jahrhunderts den

[1]) Tessier, Professor an der École centrale.



Reichtum des Pariser Beckens an Resten von Säugetieren und Vögeln kennen gelernt hatte, war das Interesse an der geologischen Durchforschung dieser Gegend in hohem Grade rege geworden. Auch Cuvier wurde einige Jahre nach seiner Ankunft in Paris in diese Aufgabe hineingezogen, um schon nach kurzer Zeit auch hier die führende Rolle zu übernehmen. Den ersten Anlafs bot ihm die Zusendung einiger Knochen, die man in den Gypsbrüchen des Montmartre gefunden hatte. Cuviers Kenntnis der lebenden Tierformen war so umfassend, dafs er jenen Überresten gleich einen vorweltlichen Ursprung zuschreiben konnte. Alle Funde der Gypsbrüche gelangten jetzt an Cuvier, welcher durch seine Untersuchung derselben der Paläontologie einen Weg eröffnete, auf dem bisher nur wenige Schritte geschehen waren. „Als Altertumsforscher ganz neuer Art", sagt Cuvier[1]), „mufste ich diese Zeugen vorübergegangener Umwälzungen zu ergänzen und ihre eigentliche Bedeutung zu entziffern suchen. Ich hatte ihre zerbröckelten Trümmer zu sammeln und in ihrer ursprünglichen Ordnung zusammenzulegen, die Geschöpfe, denen sie angehörten, gleichsam zu rekonstruieren und sie mit den lebenden der Jetztwelt zu vergleichen." Bei der Ausübung dieser Thätigkeit liefs Cuvier sich von dem durch ihn zuerst klar ausgesprochenen Prinzip von der Korrelation der Organe leiten. Jeder Organismus bildet danach ein geschlossenes Ganze, dessen Teile dergestalt mit einander in engster Wechselbeziehung stehen, dafs ein Organ nicht eine Abänderung aufweisen kann, ohne dafs entsprechende Änderungen sich an allen übrigen Teilen finden. Sehen wir, wie Cuvier unter diesem Gesichtspunkt bei der Bestimmung fossiler Knochen verfuhr[2]): „Wenn die Eingeweide eines Tieres so organisiert sind, dafs sie nur Fleisch verdauen können, so müssen auch seine Kiefer zum Fressen, seine Klauen zum Festhalten und zum Zerreifsen, seine Zähne zum Zerschneiden und Zerkleinern, das ganze System der Bewegungsorgane zum Verfolgen und Einholen der Beute, die Sinnesorgane zur Wahrnehmung derselben eingerichtet sein. Allein unter diesen allgemeinen Bedingungen sind auch noch einige besondere begriffen. Damit z. B. das Tier seine Beute forttragen könne, ist eine bestimmte Kraft derjenigen Muskeln erforderlich, durch welche der Kopf aufgerichtet wird; dieses setzt eine bestimmte Form der Wirbel, an denen die Muskeln

---

[1]) Cuvier, Discours sur les révolutions de la surface du globe. I, 1.
[2]) Cuvier, Discours sur les révolutions. I, 87.

entspringen, und des Hinterkopfes, wo sie sich anheften, voraus." Des weiteren wird ausgeführt, dafs dem Vorderarm eines seine Beute ergreifenden Tieres eine gegebene Form zukommen müsse, welche ihrerseits wieder die Form des Oberarmknochens bestimmt. Kurz, es ergiebt sich, dafs die Form des Zahnes diejenige des Hinterhaupthöckers, der Gliedmafsenknochen, der Klauen u. s. w. bedingt, sodafs bei gründlicher Kenntnis dieser gegenseitigen Abhängigkeit aus einem dieser Teile das ganze Tier rekonstruiert werden kann.

Eine solche Thätigkeit konnte aber nur ein Meister auf dem Gebiete der vergleichenden Anatomie ausüben. Cuvier ist als der eigentliche Begründer dieses Wissenszweiges zu betrachten, wenn es auch an anerkennenswerten Vorläufern nicht gefehlt hat. Er war der erste, der das ganze Tierreich dem Skalpell unterwarf, und zwar mit solch vollendeter Meisterschaft, dafs seine Arbeiten für alle Zeiten als Muster gelten können. So entstand sein anatomisches Hauptwerk[1]), welches neben einem Reichtum neuer Entdeckungen eine Verknüpfung des gesamten Thatsachenmaterials und dadurch einen Einblick in die Gesetze der tierischen Organisation vermittelt, wie es kein früheres und wenige spätere Werke in gleichem Grade vermocht haben.

Cuvier war unterdessen Professor der vergleichenden Anatomie am Jardin des plantes[2]) und bald darauf Sekretär der Akademie geworden. Sein grofses Lebenswerk wurde nicht nur dadurch gefördert, dafs ihm diese höchsten wissenschaftlichen Stellungen eine Fülle von Hülfsmitteln erschlossen, sondern die gesamten Zeitumstände waren für ihn äufserst günstig. Die Machthaber Frankreichs, welche nach den ersten Stürmen der Revolutionszeit auftraten, brachten der grofsen Bedeutung der exakten Wissenschaften ein volles Verständnis entgegen. Schon unter dem Direktorium hatte man die von dem Nationalkonvent als gelehrten Plunder aufgehobene Akademie wieder eingerichtet. Napoleon liefs sich zum Mitglied derselben ernennen und trat zu Cuvier, den er besonders schätzte, in ein nahes persönliches Verhältnis. Letzterer wurde vom Kaiser mit der Reorganisation des arg in Unordnung geratenen Unterrichtswesens betraut. Diese Stellung brachte es mit sich, dafs der grofse Gelehrte, dessen amtliche Thätigkeit sich auch auf die italienischen Universitäten erstreckte,

---

1) Leçons d'anatomie comparée. 1805. Übersetzt von Froriep und Meckel. 4 Bde. Leipzig 1809.

2) 1802.



weite Reisen unternahm und auswärtige Museen kennen lernte. Zum Centrum der naturwissenschaftlichen Sammelthätigkeit wurde aber Paris gemacht, wohin durch die französischen Eroberungszüge nicht nur die hervorragendsten Kunstschätze, sondern auch ein reiches wissenschaftliches Material gelangte. Paris war damals nicht nur der politische, sondern auch der geistige Mittelpunkt der Welt.

Nachdem Cuvier die Grundlagen der vergleichenden Anatomie geschaffen, ging sein ganzes Streben darauf hinaus, diese Wissenschaft mit der Zoologie zu verschmelzen und eine Anordnung der Formen zu treffen, welche der genaue und vollständige Ausdruck der Natur sein sollte[1]. „Als ich anfing", sagt er[2], „herrschte das Linnésche System. Es gab zwar ausgedehnte Arbeiten über einzelne Tierklassen, die Bearbeiter hatten aber nur die äufseren Beziehungen der Arten berücksichtigt; niemand hatte sich damit abgegeben, die Klassen und ihre Unterabteilungen nach der Gesamtheit der inneren und äufseren Kennzeichen gegeneinander abzuwägen. Ich mufste also in der Anatomie und Zoologie mit dem Secieren und Klassifizieren von vorn anfangen und aus der gegenseitigen Befruchtung dieser beiden Wissenschaften das zoologische System hervorgehen lassen." Die Grundzüge desselben veröffentlichte Cuvier in der berühmten Abhandlung vom Jahre 1812, mit welcher der Leser durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden ist[3]. Das war freilich nicht die von der naturphilosophischen Schule geträumte Einheit der tierischen Organisation. Cuviers durch Jahrzehnte fortgesetzte Arbeiten hatten vielmehr den durch kein Raisonnement hinwegzuleugnenden Nachweis geliefert, dafs sich die scheinbar unendliche Mannigfaltigkeit der Lebewesen auf mehrere Typen oder allgemeine Baupläne zurückführen läfst. Das gesamte Tierreich wurde demgemäfs in die vier Kreise der Wirbeltiere, Weichtiere, Gliedertiere und Strahltiere eingeteilt, welche wieder in Klassen[4] und Ordnungen zerfielen. Dieses von Cuvier geschaffene System, vor allem aber der Grundgedanke, dafs es solche allgemeinen Baupläne giebt, ist durch weitere insbesondere entwicklungsgeschichtliche Forschungen im wesentlichen bestätigt worden. Zwar sah man sich gezwungen, die Zahl

[1]) Règne animal. 2. Aufl. I, 10.

[2]) In der Vorrede zur 1. Auflage d. Règne animal.

[3]) Siehe Bd. I, Seite 222.

[4]) Siehe Bd. I, Seite 227.

der Typen zu vermehren[1]), sowie die Existenz von Zwischenformen anzunehmen, ohne dafs dadurch jedoch der Begriff des Typus erschüttert und die von Geoffroy St. Hilaire vertretenen Ansichten, nach denen z. B. die Insekten mit ihrem bauchständigen Mark als umgekehrte Wirbeltiere betrachtet wurden, zur Geltung gelangt wären.

Cuviers Untersuchungen über die fossilen Tiere berühren sich an diesem Punkte mit den Ergebnissen seiner zoologischen Arbeiten. Die Hauptpläne, welche er für die lebenden Tiere erkannt hatte, fanden sich nämlich auch an den untergegangenen Formen verwirklicht, sodafs sich die früheren mit den jetzigen Organismen zu einem grofsen System vereinigen liefsen. Mit der Erkenntnis, dafs die ausgestorbenen Wirbeltiere, auf welche sich Cuviers paläontologische Forschungen insbesondere erstreckten, von den heutigen in solchem Mafse abweichen, dafs sie mit ihnen höchstens unter denselben Gattungsbegriff gestellt werden dürfen, konnte man das Dogma von der Konstanz der Arten, von dem sich Cuvier beherrschen liefs, nicht wohl auf eine ungezwungene Weise vereinigen. So nahm denn Cuvier an, dafs jede einer geologischen Epoche eigentümliche Lebewelt auf einen besonderen Schöpfungsakt zurückzuführen sei, während die Harmonie der gesamten Schöpfung in dem Einhalten der von ihm nachgewiesenen Baupläne zum Ausdruck gelangen sollte. Jeder Neuschöpfung mufste dann eine Beseitigung der existierenden Wesen vorangegangen sein. Hierfür nahm Cuvier gewaltige geologische Umwälzungen in Anspruch, deren Spuren er in den Veränderungen, welche die ursprünglich horizontalen versteinerungsführenden Schichten erlitten haben, aufdecken zu können glaubte. Eine Darstellung dieser bis gegen die Mitte des Jahrhunderts herrschenden Katastrophentheorie hat Cuvier in seinen „Umwälzungen der Erdrinde“ gegeben[2]), mit denen der Leser bereits durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden ist.

Erwähnen wir noch, dafs Cuvier im Jahre 1817 unter dem Titel das „Tierreich“ ein umfassendes Werk[3]) herausgab, so ist damit die Bedeutung dieses aufserordentlichen Mannes zwar nicht erschöpft, doch in den wesentlichsten Punkten gewürdigt. Am 13. Mai des Jahres 1832 wurde er nach kurzer Krankheit seiner grofsartigen Thätigkeit durch den Tod entrissen. „Solange die

[1]) Siehe Bd. I, Seite 228, Anm. 1.

[2]) Siehe Bd. I ds. Grdr., Seite 254 u. f.

[3]) Cuvier, Règne animal.

Welt steht", äufserte ein hervorragender Zeitgenosse in einem Cuvier gewidmeten Nachruf[1]), „wird der Verstorbene als hellleuchtendes Gestirn am naturhistorischen Himmel glänzen und die Augen der Nachkommenden auf sich ziehen, um bei seinem Scheine den Reichtum der Natur zu bewundern, zu untersuchen, zu scheiden, zu ordnen, zu begreifen und zu benutzen."

Nachdem in der Anatomie die vergleichende Richtung über die einseitig beschreibende gesiegt hatte, konnte es nicht ausbleiben, dafs auch der menschliche Organismus unter allgemeineren Gesichtspunkten betrachtet wurde. Schon Linné hatte dem Menschen einen Platz in seinem System, und zwar innerhalb der Ordnung der Primaten, angewiesen und dazu bemerkt, er habe bislang kein anatomisches Kennzeichen nachweisen können, wodurch der Körperbau des Menschen von demjenigen des Affen unterschieden sei. Aus dem Bemühen, den von Linné vermifsten „Charakter der Humanität" aufzufinden, überhaupt den Menschen als ein Naturgeschöpf zu würdigen und zu verstehen, entsprang die Wissenschaft der Anthropologie, welche sich seit dem Erscheinen von Blumenbachs „Über die angeborene Verschiedenheit im Menschengeschlecht" datieren läfst[2]). In dieser Schrift sucht Blumenbach den Nachweis zu führen, dafs die Menschheit aus Rassen bestehe, welche aus einem gemeinschaftlichen Stamme hervorgegangen seien, ähnlich wie dies für die Spielarten der Haustiere zutrifft. Obgleich Blumenbach, mit dessen Anschauungen der Leser durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden ist[3]), durchaus nicht verkennt, dafs derartige Spielarten durch kaum merkliche Übergänge in einander überfliefsen, gelangt er doch zur Aufstellung seiner bekannten fünf Hauptrassen. Als ein wesentliches anatomisches Merkmal, welches den Menschen vom höheren Tiere, insbesondere vom Affen unterscheidet, betrachtet Blumenbach, den wir als einen der frühesten vergleichenden Anatomen und den Begründer der ethnographischen Schädellehre gelten lassen müssen, das vortretende Kinn und die dadurch bedingte aufrechte Stellung der unteren Vorderzähne, während der gleichfalls auf dem Gebiete der vergleichenden Anatomie schon vor Cuvier thätige Holländer Peter Camper (1722—1789) in einer vortrefflichen Arbeit über den Orang-Utang darauf hinwies, dafs der Gesichtswinkel dieses

---

[1]) Der deutsche Naturforscher Oken in der Zeitschrift „Isis", Jahrgang 1832, Seite 1303.

[2]) De generis humani varietate nativa, Göttingen, 1775.

[3]) Siehe Bd. I, Seite 219.



höchststehenden Affen beträchtlich kleiner als derjenige der am tiefsten stehenden menschlichen Rassen sei.

Auch auf dem Gebiete der Botanik kam man durch die vergleichende Betrachtung der Formen zu wertvollen Ergebnissen. Während Jussieu und Decandolle durch eine solche sich über die Gesamtheit der Arten erstreckende Betrachtung zur Aufstellung des natürlichen Systems gelangen, sehen wir Wolff und Goethe den Beziehungen zwischen den einzelnen Organen der Pflanze nachspüren und diese Beziehungen in ihrer Lehre von der Metamorphose zum Ausdruck bringen. Den Grundgedanken seiner Lehre hat Wolff in folgenden Worten ausgesprochen: „In der ganzen Pflanze, deren Teile wir beim ersten Anblick als so aufserordentlich mannigfaltig bewundern, sehe ich, nachdem ich alles reiflich erwogen, schliefslich nichts anderes als Blätter und Stengel." Derselbe Gedanke[1]) wird von Goethe in seinem „Versuch über die Metamorphose der Pflanzen", mit dem der Leser bereits durch den ersten Band bekannt geworden ist[2]), bis ins einzelne ausgeführt. Dieser Gedanke ist auch heute noch der Ausgangspunkt der morphologischen Betrachtungsweise, sodafs sich Goethe, dessen naturwissenschaftliche Arbeiten zum Teil erhebliche Schwächen aufweisen und überhaupt nur unter Berücksichtigung der Eigenart ihres Verfassers betrachtet werden dürfen, hier ein bleibendes Verdienst erwarb. Wolff und Goethe haben den Begriff „Metamorphose" wie die gleichzeitig lebenden Systematiker den Begriff „Verwandtschaft" zunächst als etwas Bildliches aufgefafst. Doch läfst sich nicht verkennen, dafs Goethe mit seinem intuitiven Denken später den Transformismus, d. h. die Lehre von dem wirklichen im Lauf der Zeit erfolgten Entstehen der einen Form aus der anderen, vorgeahnt hat. So heifst es in seiner „Geschichte meines botanischen Studiums": „Das Wechselhafte der Pflanzengestalt erweckte nun bei mir die Vorstellung, die uns umgebenden Pflanzenformen seien nicht ursprünglich determiniert und festgestellt, ihnen sei vielmehr eine glückliche Mobilität und Biegsamkeit verliehen, um in so viele Bedingungen, die über den Erdkreis auf sie einwirken, sich zu fügen und danach sich bilden und umbilden zu können."

Der Gedanke, dafs die Arten nicht konstant, sondern durch allmähliche Umbildung aus früheren Formen hervorgegangen seien,

---

[1]) A. Kirchhoff, Die Idee der Pflanzenmetamorphose bei Wolff und Goethe. 1867.

[2]) Siehe Bd. I ds. Grdr., Seite 194.



wurde jedoch in voller Klarheit erst von dem Franzosen Lamarck[1]), einem Zeitgenossen Cuviers, entwickelt. Indes gelang es Lamarck nicht, eine solche Umbildung, welche er zum Teil auf entsprechende Änderungen der Lebensbedingungen, vorzugsweise aber auf den Gebrauch und Nichtgebrauch der Organe zurückführte, hinreichend zu erklären. Manche seiner Ansichten, wie diejenige, daſs der lange Hals der Giraffe von dem beständigen Hinaufrecken nach dem Laube der Bäume herrühre, wurden daher mit Recht verspottet. Dennoch blieb das Problem, für den Begriff der Verwandtschaft und die während der geologischen Entwicklung bewahrte Kontinuität der Lebewelt den realen Grund zu finden, nachdem es einmal aufgeworfen, die Triebfeder, welche zu fortgesetzter Spekulation und Beobachtung angeregt und endlich zu einer unser Zeitalter wenigstens in der Hauptsache befriedigenden Lösung geführt hat.

## 6. Die Naturwissenschaften im Zeitalter der Entdeckung des Energieprinzips.

Der bisherige Gang der Entwicklung lieſs erkennen, daſs groſse epochemachende Fortschritte auf den Nachweis eines Zusammenhanges zwischen den verschiedenen Gebieten und einer dementsprechenden Verknüpfung der Ideen zurückzuführen sind. Galilei begründet die Dynamik, indem er die alltäglichsten Vorgänge in der Welt der irdischen Erscheinungen begrifflich und experimentell analysiert; Keppler erkennt die Gesetze, nach welchen die Bewegung der Himmelskörper vor sich geht. Dann kommt Newton und weist den Zusammenhang zwischen dem Wurf und der Centralbewegung nach, indem er beide auf die Wirkung einer Stoſskraft und die konstante Anziehung der Himmelskörper zurückführt. Einer Ausdehnung der mechanischen Erklärungsweise auf die übrigen Gebiete der Naturwissenschaft stand zunächst die herrschende Vorstellung von den Imponderabilien im Wege. welche als Licht- und Wärmestoff, als elektrisches und magnetisches Fluidum, als Phlogiston und Lebensgeister einen ganz ungenügenden Ersatz für den heutigen Kraftbegriff bildeten. In manchen Fällen glaubte man sogar, ohne die Annahme übernatürlicher Einflüsse nicht auskommen zu können. Ja, Newton selbst war der Ansicht,

[1]) Lamarck, Philosophie zoologique. 1809.

dafs nur durch derartige Einflüsse die Stabilität des Planetensystems aufrecht erhalten werde, und erst Laplace hat dargethan, dafs eine solche Stabilität trotz aller Änderungen, welche die Bahnelemente der Planeten erleiden, gesichert erscheint.

Erst gegen das Ende des 18. und während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden die genannten mystischen Begriffe überwunden. Ermöglicht wurde dies dadurch, dafs jene von der Philosophie schon lange gehegte Auffassung vom Wesen der Materie, die wir die atomistische nennen, durch Dalton auf den Rang einer naturwissenschaftlichen Theorie erhoben wurde. Jetzt erst konnte die mechanische Erklärungsweise auf die chemischen Vorgänge ausgedehnt werden, in welchen man fortan das Wechselspiel der Atome erblickte. Unter dem Einflufs der atomistischen Auffassung waren auch die ersten Ansätze der mechanischen Wärmetheorie zustande gekommen. Young und Fresnel hatten die Lichterscheinungen unter der Annahme eines gleichfalls aus diskreten Teilchen bestehenden Weltäthers erklärt, während die Forschungen Oersteds und Ampères zahlreiche Beziehungen zwischen den elektrischen und den magnetischen Vorgängen aufgedeckt hatten.

Es ist nun unsere Aufgabe zu zeigen, wie durch die Entdeckung neuer Thatsachen und Beziehungen auf allen Gebieten, sowie durch das Hinwegräumen veralteter Vorstellungsgebilde um die Mitte des 19. Jahrhunderts eine einheitliche, auf dem Energieprinzip beruhende Weltauffassung, das Fundament der heutigen Naturwissenschaft, vorbereitet und geschaffen wurde.

Wir beginnen mit der Astronomie, welche in dieser Periode einen ihrer gröfsten Triumphe erlebte, indem „das geistige Auge einen Weltkörper sah, ihm seinen Himmelsort, seine Bahn und seine Masse anwies, ehe noch ein Fernrohr auf ihn gerichtet wurde“[1]). Der von Herschel im Jahre 1781 aufgefundene Uranus bereitete den Astronomen grofse Schwierigkeiten. Nachdem für diesen Planeten Beobachtungen vorlagen, welche sich über 40 Jahre erstreckten, war man zur Herstellung von Tafeln[2]) geschritten. Bald nach der Entdeckung des Uranus hatte sich ergeben, dafs einzelne Positionen dieses Planeten schon von älteren Astronomen[3]) im Verlauf des 18. Jahrhunderts vermerkt worden

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos II, Seite 211.

[2]) Tables astronomiques, publiées par le bureau des longitudes, contenant les tables de Jupiter, de Saturne et d'Uranus. Paris 1821.

[3]) Flamsteed, Bradley, Mayer.



waren; nur hatte man diese Beobachtungen auf einen Stern 6. Gröfse, nicht aber auf einen unserem Sonnensystem angehörenden Weltkörper bezogen. Jene älteren Beobachtungen liefsen sich jedoch nicht mit den neueren zu brauchbaren Tafeln vereinigen. Man verwarf daher die ersteren als ungenau, obgleich man damit den betreffenden Beobachtern gewaltige Fehler zur Last legte.

Als nach der erwähnten Herausgabe der Uranustafeln ein Vierteljahrhundert verflossen war, stellte sich indes dasselbe Verhältnis zwischen den neuesten und jenen Beobachtungen heraus, welche zur Aufstellung der Tafeln gedient hatten. Ein solcher Mangel an Übereinstimmung liefs sich nicht abermals einer Ungenauigkeit zuschreiben. Es erhob sich daher die Frage, ob die Theorie der Planetenbewegung etwa nicht genügend ausgebildet sei, und das Gravitationsgesetz z. B. für gröfsere Entfernungen keine strenge Gültigkeit besitze; oder ob der Uranus noch anderen Einflüssen gehorche neben denjenigen, welche die Sonne, Jupiter und Saturn auf ihn ausüben. Sollte es nicht unter der letzteren Annahme, so fragte man sich, möglich sein, durch ein aufmerksames Studium der Abweichungen, welche der Uranus darbietet, die bislang unbekannte Ursache derselben zu ermitteln und den Punkt am Himmel anzugeben, wo der fremde Körper, jene vermutliche Quelle aller Schwierigkeiten, seinen Sitz hat? Diese Frage war es, mit der sich um das Jahr 1845 auf Aragos Veranlassung ein junger, bis dahin kaum bekannter Franzose namens Leverrier beschäftigte[1]). Das Problem war offenbar eine Umkehrung der von Laplace zuerst bewältigten Störungsrechnung. Hatte man früher aus der Kenntnis aller Elemente des störenden Körpers die Abweichungen des Planeten von der elliptischen Bahn berechnet, so galt es jetzt, aus der genauen Kenntnis dieser Abweichungen die Stellung und die Masse des störenden Weltkörpers zu ermitteln. Hierbei liefs sich Leverrier zunächst durch einige Analogieschlüsse leiten. Er nahm an, das zu entdeckende Gestirn sei von der Sonne doppelt so weit wie der Uranus entfernt und befinde sich in der Ebene der Ekliptik. Am 31. August des Jahres 1845 konnte er der Pariser Akademie die Bahnelemente, die Masse, den Ort und die scheinbare Gröfse des vermuteten Planeten mitteilen. Da sich die Berliner Sternwarte damals im Besitz einer sehr genauen Karte

[1]) Urbain Jean Joseph Leverrier, 1811 in St. Lô (Département La Manche) geboren, seit 1854 Direktor der Pariser Sternwarte, starb im Jahre 1877. Siehe Leverrier, Recherches sur les mouvements de la planète Uranus. Compt. rend. XXII, Seite 907 ff.



der von Leverrier angegebenen Region des Himmels befand, so wurde diese Warte von dem Ergebnis der Rechnung in Kenntnis gesetzt. An demselben Abend, als die Mitteilung aus Paris in die Hände Galles[1]) gelangte, welcher derzeit in Berlin die Stelle eines astronomischen Hülfsarbeiters inne hatte, gelang diesem die Entdeckung des gesuchten, später Neptun genannten äufsersten Planeten.

Dem geschilderten glänzenden Erfolg der theoretischen Astronomie konnten sich die insbesondere von Bessel[2]) herbeigeführten Fortschritte der Beobachtungskunst würdig an die Seite stellen. Ermöglicht wurden diese Fortschritte durch die Vervollkommnung, welche die dioptrischen Instrumente in der Hand eines Fraunhofer und anderer hervorragender Optiker erfahren hatten. Welch' scharfe Messungen z. B. die im Jahre 1837 gelungene erste Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns erforderte, ist dem Leser durch den 55. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden. Der Wert der von Bessel für den 61. Stern des Schwans ermittelten Parallaxe[3]) beträgt nämlich nur 0,31 Sekunden, was einer Entfernung von 12 Billionen Meilen entspricht. Spätere Ermittlungen haben den Wert der Parallaxe von 61 Cygni zu 0,44″ und denjenigen für den der Sonne nächsten Stern, $\alpha$ Centauri, zu 0,75″ (entsprechend 4,3 Lichtjahren) ergeben.

Hatte die Entdeckung Leverriers bewiesen, dafs auch die fernsten Glieder unseres Systems dem Gesetz der Attraktion gehorchen, so gelang es seit etwa 1830 die Gültigkeit dieses Gesetzes auch für die entlegensten Fixsternregionen durch Berechnung und Beobachtung der Doppelsternbahnen darzuthun[4]) und auch hierdurch einer einheitlichen Auffassung des gesamten Naturgeschehens den Weg zu ebnen.

Letzteres erfolgte aber auf keinem Gebiete in gleichem Mafse wie auf demjenigen der Physik, auf deren Boden eine solche Auffassung recht eigentlich erwachsen sollte, um dann für alle übrigen Zweige der Naturwissenschaft das verknüpfende Band zu werden. Der eigenartigste und bedeutendste Physiker, welcher uns in diesem

---

1) Joh. Gottfried Galle, geboren am 9. Juni 1812 in der Nähe von Gräfenhainichen, von 1851 bis 1896 Direktor der Sternwarte zu Breslau.

2) Über Bessels Leben siehe die Einleitung zum 55. Abschnitt des I. Bandes.

3) Siehe Bd. I, Seite 321, Anm. 1.

4) Franz Encke, Über die Berechnung der Bahnen der Doppelsterne. 1832.

der Entdeckung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft unmittelbar vorhergehenden Zeitabschnitt begegnet, ist der Engländer Faraday.

Michael Faraday wurde am 22. September 1791 in einem kleinen Orte in der Nähe von London geboren. Sein Vater war Hufschmied und gehörte zu einer aus der schottischen Kirche hervorgegangenen Sekte, welcher auch der Sohn bis an sein Lebensende treu geblieben ist. Vom 13. Jahre an mufste Faraday selbst für seinen Unterhalt sorgen. Er wurde zunächst Laufbursche und darauf Lehrling in einer Buchbinderei. Sein Interesse für die Naturwissenschaften wurde durch die Lektüre der zum Einbinden bestimmten Bücher angeregt. Ohne die Berufsgeschäfte zu vernachlässigen, wufste er sich sogar durch einfache Versuche das Gelesene zu veranschaulichen. Ein Mitglied der Royal Institution, welches bei dem Meister Faradays arbeiten liefs, ermöglichte dem lernbegierigen Jüngling den Zutritt zu den Vorträgen Davys. Jetzt entbrannte in Faraday der Wunsch, gleichfalls wissenschaftlich arbeiten zu können. „In der Unkenntnis der Welt und der Einfalt meines Gemütes“, bekannte er später in den wenigen eigenen Aufzeichnungen, die wir über sein Leben besitzen [1]), „schrieb ich noch als Lehrling an den damaligen Präsidenten der Royal Society. Ich erkundigte mich bei dem Portier nach einer Antwort, aber natürlich vergebens.“ Mit besserem Erfolge wandte er sich darauf an Davy, dem er als Beweis seines Strebens die Ausarbeitung der gehörten Vorträge übersandte. Der Meister hatte für den eifrigen Jünger seiner Wissenschaft eine gütige Antwort und beschäftigte ihn mit schriftlichen Arbeiten, als er selbst durch eine Explosion am Auge verwundet war. Bald darauf bot ihm Davy die Stelle eines Assistenten an dem Laboratorium der Royal Institution an. Faraday, welcher sich danach sehnte, aus seinem Gewerbe entlassen zu werden, nahm diese Stelle mit Freuden an. Der Gegenstand, der ihn zuerst beanspruchte, war kein angenehmer; es galt nämlich, den Chlorstickstoff zu untersuchen, eine Verbindung, deren Explosion die erwähnte Verletzung Davys herbeigeführt hatte. Auch Faraday entging einer solchen nicht. „Ich freue mich“, schrieb er damals an einen Freund, „dafs ich Ihnen in Ruhe über unsere Erfolge berichten kann, denn ich bin, wenn auch nicht unbeschädigt, vier starken Explosionen dieser Substanz entgangen. Die schlimmste erfolgte, während ich eine kleine Röhre hielt, in

[1]) Tyndall, Faraday und seine Entdeckungen. Braunschweig 1870. Seite 167 ff.

welcher 7½ Gran Chlorstickstoff enthalten waren. Sie war so heftig, daſs mir ein Teil des Nagels abgerissen wurde und die Stücke der Röhre in die gläserne Maske einschnitten, welche ich zum Glück vor hatte." Später gelang es Faraday, das Element Chlor und einige andere Gase, die man bisher für permanent gehalten hatte, zu verflüssigen.

Seinem eigentlichsten Arbeitsfelde, der Elektricitätslehre, wurde er durch Oersteds epochemachende Entdeckung zugeführt. Man hatte sich in London die Aufgabe gestellt, statt der von Oersted gefundenen bloſsen Ablenkung eine bleibende Rotation der Magneten durch den galvanischen Strom herbeizuführen. Der erste, dem die Lösung dieses Problems gelang, war Faraday[1]). Er beschwerte den einen Pol des Magneten mit Platin und lieſs ihn dann derartig in einem mit Quecksilber gefüllten Gefäſse schwimmen, daſs der andere Pol aus der Flüssigkeit hervorragte. Wurde dann ein Strom durch das Quecksilber von der Mitte nach der Peripherie geleitet, so rotierte der Magnet um die Achse des Gefäſses.

Neben dieser Erweiterung der von Oersted gemachten Entdeckung galt es auch die Umkehrung des Phänomens, nämlich die Erzeugung von Strom durch Magnetismus, herbeizuführen. Wie Faraday diese Aufgabe bewältigte, hat uns der von seinen „Experimental-Untersuchungen" handelnde 47. Abschnitt des I. Bandes gelehrt.

Die Veröffentlichung dieser berühmten „Experimental-Untersuchungen über die Elektricität"[2]) begann im Jahre 1832. Das erste, was sie brachten, war der Nachweis, daſs sowohl ein stromdurchflossener Leiter als auch ein Magnet Ströme in einem benachbarten Draht hervorzurufen vermögen, daſs diese Induktionsströme aber nur von augenblicklicher Dauer sind, und manche Ähnlichkeit mit der elektrischen Welle besitzen, in welcher die Entladung einer Leydener Batterie besteht[3]).

Die Entdeckung der Induktion führte Faraday sofort zum Verständnis einer bis dahin völlig rätselhaften Erscheinung. Im

---

[1]) Faraday, Ann. de chim. et de phys. T. XVIII. Gilberts Annalen Band LXXI und LXXII.

[2]) Experimental researches in electricity, 3 vol., London 1839—55. Dieselben erschienen, übersetzt von S. Kalischer, Berlin 1891. Das Gesamtwerk umfaſst 30 Reihen. Reihe I—VIII bildet den Inhalt der Nummern 81, 86 und 87 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann 1896/97.

[3]) Näheres siehe Bd. I, Seite 272 u. f.

Jahre 1824 hatte Arago beobachtet, dafs eine über einer Kupferscheibe schwingende Magnetnadel auffallend schnell zur Ruhe kommt. Versetzte man die Scheibe in Rotation, so wurde diese Bewegung auf den Magneten übertragen, während auch umgekehrt kräftige rotierende Magnete mehrere Pfund schwere Kupferscheiben mit sich herumführten[1]). Blieben Magnet und Scheibe in Ruhe, so war nicht das Geringste von einer zwischen beiden stattfindenden Anziehung oder Abstofsung zu bemerken. Jetzt war die Zeit für die Erklärung dieses sonderbaren Phänomens gekommen. In Faraday entstand die Vermutung, dafs es sich hierbei um Induktionsströme handeln müsse. Um diese Ansicht auf ihre Richtigkeit zu prüfen, liefs er die Kupferscheibe zwischen den Polen eines starken Magneten rotieren. Auf dem Rande der Scheibe und an der aus Metall bestehenden Achse derselben befanden sich Schleifkontakte, welche mit dem Galvanometer in Verbindung standen. Sobald nun gedreht wurde, zeigte eine Ablenkung der Galvanometernadel, dafs die Scheibe während der Bewegung von induzierten Strömen durchflossen war. Jene Wechselwirkung zwischen dem bewegten Metall und dem Magneten liefs sich jetzt aus den bekannten Gesetzen der Elektrodynamik ableiten.

Faradays weitere Bemühungen liefen nun darauf hinaus, alle Zweifel zu beseitigen, ob man es bei den auf so verschiedene Weise erzeugten Elektricitätsarten stets mit ein und derselben Naturkraft zu thun habe. Indem er ihre sämtlichen Wirkungen zusammenstellte und verglich, gelangte er zur Überzeugung, „dafs die Elektricität, aus welcher Quelle sie auch entsprungen sei, identisch ist in ihrer Natur[2])“. Bei dieser Untersuchung wurde seine Aufmerksamkeit besonders durch die chemische Wirkung der Elektricität gefesselt, auf welche sich eine zweite Gruppe seiner Entdeckungen bezieht. Zunächst schuf Faraday für dieses Gebiet die noch heute gebräuchliche Nomenklatur. Die Ein- und Austrittsstelle des Stromes, früher als Pole bezeichnet, nennt er Elektroden; der zu zersetzende Körper wird Elektrolyt, der Vorgang selbst Elektrolyse, und die Produkte der Zersetzung werden Ionen genannt. Das Anion, z. B. der bei der Zerlegung des Wassers auftretende Sauerstoff, wandert an die Anode, das ist die Eintritts-

---

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 81, Seite 27 u. f. Die betreffenden Abhandlungen Aragos erschienen in den Ann. de chim. et de phys. T. XXVII XXVIII und XXXII.

[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 86, Seite 33.



stelle des Stromes, während das Kation, in dem angezogenen Beispiel der Wasserstoff, an die Kathode oder Austrittsstelle geht.

Es ergab sich nun zunächst, dafs die zersetzende Wirkung des Stromes der Elektricitätsmenge proportional ist und nicht etwa von der Konzentration des Elektrolyten oder von der Gröfse der Elektroden abhängt[1]). Auf dieses Gesetz gründete Faraday dann einen Apparat, welcher die hindurchgegangene Elektricitätsmenge zu messen gestattet. Eine oben geschlossene graduierte Röhre (siehe Fig. 71), durch deren Seiten zwei eingeschmolzene, in Platten endigende Platindrähte gehen, wird in eine der Mündungen einer zweihalsigen Flasche gesteckt. Letztere wird etwa zur Hälfte mit Wasser versehen, welches einen Zusatz von Schwefelsäure erhält. Durch entsprechendes Neigen wird die Röhre mit dieser Flüssigkeit gefüllt. Leitet man dann einen elektrischen Strom durch das Instrument, so sammelt sich das an den Platinplatten entwickelte Gas in dem oberen Teil der Röhre und kann hier gemessen werden.

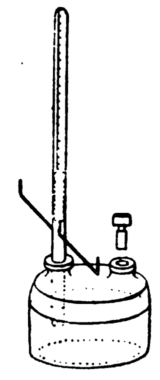


Fig. 71. Faradays Voltaelektrometer[2]).

Um Vergleiche über die zersetzende Wirkung des elektrischen Stromes anzustellen, brachte Faraday seinen Apparat, den er als Voltaelektrometer oder kürzer als Voltameter bezeichnete, in denselben Stromkreis, in welchem sich der zu untersuchende Elektrolyt z. B. Zinnchlorür ($SnCl_2$) befand. Der Platindraht P tauchte in das geschmolzene Chlorür und wurde (siehe Fig. 72) mit dem

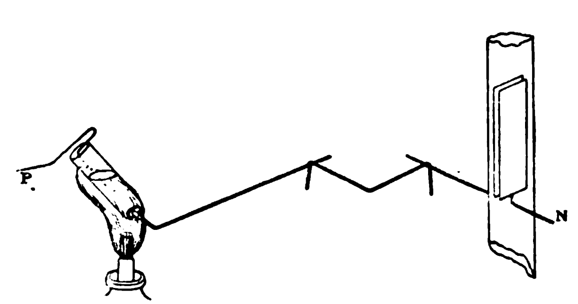



Fig. 72. Faraday zerlegt Zinnchlorür zum Nachweis des elektrolytischen Grundgesetzes[3]).

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 87, Seite 48.

[2]) Faradays Experimentaluntersuchungen, VII. Reihe, 5. Abschnitt. (Ostwalds Klassiker Nr. 87, Fig. 9).

[3]) Faradays Experimentaluntersuchungen, VII. Reihe (Ostwalds Klassiker Nr. 87, Fig. 14).

negativen, das Voltameter N dagegen mit dem positiven Ende einer galvanischen Batterie verbunden. Nachdem sich eine genügende Menge Gas in N gesammelt hatte, wurde gemessen und das an der Kathode ausgeschiedene Zinn gewogen. In dem von Faraday mitgeteilten Beispiele[1]) hatten sich 3,85 Kubikzoll (0,49742 Gran) Knallgas gebildet, während die negative Elektrode eine von dem ausgeschiedenen Zinn herrührende Gewichtszunahme von 3,2 Gran aufwies. Dem Gewicht des Wasserstoffs ($^1/_9$ von 0,49742) entsprach demnach die 57,9fache Menge Zinn, eine Zahl, welche mit dem Äquivalentgewicht dieses Elementes nahezu übereinstimmt. Dieser und zahlreiche ähnliche Versuche ergaben als elektrolytisches Grundgesetz, dafs die Abscheidung der Ionen durch ein- und denselben Strom stets im Verhältnis der chemischen Äquivalente stattfindet.

Durch seine Arbeit über die zersetzende Wirkung der galvanischen Säule gelangt nun Faraday, noch bevor Robert Mayer das Gesetz von der Erhaltung der Kraft formuliert, zu Anschauungen, welche sich mit diesem allumfassenden Prinzip vollkommen decken. „Die Kontakttheorie", so lauten seine Worte[2]), „nimmt an, dafs ohne irgend einen Wechsel in der wirkenden Substanz und ohne den Verbrauch von irgend einer Triebkraft ein Strom gebildet werden könne, der imstande ist, einen mächtigen Widerstand zu überwinden und Körper zu zerlegen. Es wäre dies in der That die Erschaffung einer Kraft aus nichts. Es giebt mancherlei Vorgänge, bei welchen die Erscheinungsform sich in der Weise ändert, dafs eine Umwandlung einer Kraft in die andere stattfindet. Auf diese Weise können wir chemische Kräfte in elektrischen Strom oder diesen in chemische Kraft verwandeln. Die schönen Versuche von Seebeck[3]) beweisen den Übergang von Wärme in Elektricität, und andere von Oersted[4]) und mir angestellte Experimente die gegenseitige Verwandlungsfähigkeit von Elektricität und Magnetismus. Allein in keinem Falle, nicht einmal bei den elektrischen Fischen, findet eine Erschaffung oder eine Erzeugung von Kraft statt ohne einen entsprechenden Verbrauch von etwas anderem." Diese Worte lassen erkennen, dafs grofse wissenschaftliche Wahrheiten, noch ehe sie

---

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 87, Seite 77.

[2]) Tyndall, Faraday und seine Entdeckungen. Braunschweig, 1870. Seite 59.

[3]) Siehe Seite 346 ds. Bds.

[4]) Siehe Seite 371 ds. Bds.

zum vollen Durchbruch gelangen, oft mehr oder weniger deutlich in dem allgemeinen Bewufstsein ihrer Zeit schlummern.

Von dem Bestreben, neue Beziehungen zwischen den Kräften aufzudecken, sehen wir Faraday stets erfüllt. Aus der Überzeugung, dafs solche Beziehungen auch zwischen der Elektricität und dem Lichte bestehen, entsprang sein berühmter Versuch der Magnetisierung des Lichtes[1]. Nachdem alle Bemühungen, einen direkten Einflufs des Magneten auf einen gewöhnlichen Lichtstrahl nachzuweisen, erfolglos gewesen waren, brachte Faraday ein Stück Glas zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagneten, sodafs es über die Ebene dieser Pole hinausragte. Durch das Glas wurde dann in axialer Richtung[2] ein polarisierter Lichtstrahl geleitet und der analysierende Nikol so gestellt, dafs der Strahl erlosch. Wurde jetzt der Elektromagnet erregt, so erhellte sich das Gesichtsfeld und konnte nur durch eine entsprechende Drehung des Analyseurs wieder verdunkelt werden. Die Polarisationsebene des Lichtes hatte somit unter der Wirkung des Magneten eine Drehung erfahren.

Dieses Resultat brachte Faraday auf den Gedanken, den Einflufs des Magnetismus auf sämtliche Substanzen zu untersuchen[3]. Zunächst wurde ein Stück jenes Glases, welches ihm beim vorigen Versuch gedient hatte, zwischen den Polen eines sehr kräftigen Elektromagneten aufgehängt. Das Glas nahm darauf eine äquatoriale Stellung an, ein Beweis, dafs es abgestofsen wurde, während sich ein Eisen- oder Wismutstäbchen infolge einer von den Polen ausgehenden Anziehung axial stellten. Die weitere Untersuchung ergab nun, dafs alle Substanzen, einschliefslich der flüssigen und der gasförmigen, sich entweder wie das Eisen oder wie jenes Glas verhalten. Im ersteren Falle nannte Faraday die Substanz paramagnetisch, während sie im anderen Falle als diamagnetisch bezeichnet wurde.

Faradays Bemühungen, eine Beziehung zwischen der Elektricität und der Schwerkraft aufzufinden, blieben ohne Resultat. In dem Nachweis, dafs der Magnetismus eine auf sämtliche Materien wirkende Kraft ist, bestand seine letzte grofse Entdeckung. Er

---

1) Faraday, Experimental researches ser. XIX. Siehe auch Poggendorffs Annal. Bd. LXVIII, Seite 105.

2) D. h. in der Verbindungslinie der Pole.

3) Faraday, Experim. research. ser. XX oder auch Poggendorffs Ann. Bd. LXIX.



starb am 25. August des Jahres 1867 in dem Hause, welches ihm die Königin etwa zehn Jahre zuvor geschenkt hatte.

Faraday faſste bei seinen Untersuchungen vorzugsweise die qualitative Seite der Naturerscheinungen ins Auge. Als Autodidakt besaſs er nicht die nötige mathematische Schulung, um den quantitativen Beziehungen in gleicher Weise gerecht zu werden. Das Ohmsche Gesetz z. B., welches besagt, daſs die Stromstärke proportional der elektromotorischen Kraft und umgekehrt proportional dem Leitungswiderstande ist, wurde von Faraday fünf Jahre, nachdem Ohm dasselbe veröffentlicht hatte [1]), noch nicht berücksichtigt [2]). Die quantitative Seite des Magnetismus wurde gleichfalls erst in Deutschland genügend gewürdigt, wo Gauſs die Intensität dieser Naturkraft bestimmte [3]) und die Grundlagen für das absolute Maſssystem schuf, welches Wilhelm Weber dann auf das galvanische Gebiet ausdehnte.

Auch die Wärmelehre erfuhr zu dieser Zeit einen wesentlichen Fortschritt, indem besonders durch Melloni [4]) die Identität der Licht- und Wärmestrahlen nachgewiesen wurde. Der von Melloni zu diesem Zwecke benutzte Apparat ist die Thermosäule in Verbindung mit dem Multiplikator (der Thermomultiplikator). Vermittelst desselben gelang es, nicht nur die Reflexion und Brechung, sondern auch die Beugung, Interferenz, Doppelbrechung und Polarisation der strahlenden Wärme, kurz, deren völlige Übereinstimmung mit dem Lichte darzuthun. Während Herschel die Möglichkeit einer Identität der Licht- und Wärmestrahlen wohl in Betracht gezogen hatte, aber zu dem Schluſs gekommen war, daſs eine solche nicht vorhanden sei [5]), wurde durch Melloni und seine Mitarbeiter [6]) der Beweis erbracht, daſs es nur eine Art von

---

1) G. S. Ohm, Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet. Berlin 1827,

2) A. J. v. Oettingen in „Ostwalds Klassiker" Nr. 87, Seite 178.

3) C. F. Gauſs, Die Intensität der magnetischen Kraft auf absolutes Maſs zurückgeführt; herausgegeben von E. Dorn als 53. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften.

4) Macedonio Melloni, geboren den 11. April 1798 in Parma, gestorben den 11. August 1854, war Professor der Physik zu Parma, später Direktor des Konservatoriums der Künste und Gewerbe zu Neapel. Seine zahlreichen Abhandlungen über strahlende Wärme erschienen in den „Annales de Chimie et de Physique", sowie in Poggendorffs Annalen.

5) Philosophical Transactions. 1800,437.

6) Neben Melloni haben sich besonders Knoblauch, Magnus, Tyndall und Leslie um die Erforschung der strahlenden Wärme verdient gemacht.

Strahlen giebt, und dafs alle Unterschiede, durch welche die optischen, thermischen und chemischen Wirkungen bedingt sind, auf Verschiedenheiten in der Wellenlänge und der Intensität zurückgeführt werden müssen.

Wir haben hiermit in der Hauptsache diejenigen grofsen Errungenschaften der Physik kennen gelernt, welche eine einheitliche Auffassung des Naturgeschehens anbahnten, und wollen jetzt, unter dem gleichen Gesichtspunkte, die Fortschritte der Chemie während dieses der Aufstellung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft unmittelbar vorhergehenden Zeitraumes verfolgen. Zunächst ist zu erwähnen, dafs diese Wissenschaft durch die Begründung der Elektrochemie, sowie einer elektrochemischen Theorie des Galvanismus und der chemischen Verwandtschaft in die engste Fühlung mit der Elektricitätslehre gekommen war. Den klarsten Ausdruck fand jene Theorie, der schon Davy[1]) gehuldigt hatte, durch Berzelius[2]). Ausgehend von der Thatsache, dafs alle heterogenen Substanzen entgegengesetzt elektrisch werden, wenn sie sich berühren, nahm Berzelius an, jedes Atom besitze mindestens zwei Pole, deren Elektricitätsmengen verschieden grofs seien. Je nachdem die positive oder die negative Elektricität vorherrschend wäre, sollten die Teilchen bei der Elektrolyse an die negative oder an die positive Elektrode wandern, während die chemische Vereinigung in der Neutralisation der entgegengesetzten Elektricitäten bestände. Infolge dieser Neutralisation sollten dann Licht und Wärme auf dieselbe Weise entstehen, wie es bei der Leydener Flasche, dem Gewitter und der galvanischen Säule der Fall ist[3]). Diese ältere elektrochemische Theorie hat zwar den Thatsachen gegenüber nicht Stand gehalten, aus ihr ist aber die neuere Lehre vom galvanischen Strom hervorgegangen.

Die bedeutendste Erscheinung, welche uns jetzt zu beschäftigen hat, ist die in dieser Periode erfolgende Begründung der organischen Chemie, eine trotz aller anerkennenswerten Mitwirkung der übrigen Nationen vorwiegend deutsche Geistesthat. Zwar hatte Scheele eine Anzahl wohl charakterisierter organischer Verbindungen kennen gelehrt. Lavoisier hatte dann gezeigt, dafs die organischen Substanzen aus denselben Elementen bestehen, welche sich an der Bildung unorganischer Verbindungen beteiligen. Es waren

---

[1]) Philosoph. Transact. 1807,1.

[2]) Berzelius, Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen und über die chemischen Wirkungen der Elektricität. Dresden 1820.

[3]) a. a. O. Seite 79.

dies Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und in gewissen Fällen kleine Mengen von Schwefel und Phosphor. Der älteste, schon von Hales beschrittene Weg, um über die Zusammensetzung von Substanzen des Tier- und Pflanzenreiches Aufschlufs zu erlangen, bestand in der trockenen Destillation und in der Untersuchung der hierbei auftretenden Produkte. Lavoisier verfuhr dagegen in der Weise, dafs er den zu analysierenden Körper in Sauerstoff verbrannte und ihn dadurch in Verbindungen von bekannter Zusammensetzung (Wasser und Kohlendioxyd) überführte, deren Menge er zwar zu bestimmen suchte, ohne jedoch hinlänglich genaue Resultate zu erhalten. An die Stelle der durch Quecksilber abgesperrten Glocke Lavoisiers trat dann später die Verbrennungsröhre, in welcher die zu untersuchende Substanz mit Sauerstoff abgebenden Mitteln, wie Kaliumchlorat oder Kupferoxyd, erhitzt wurde. Ihre Vollendung erhielt die organische Elementaranalyse aber erst durch Liebig, dessen zur Bestimmung des Kohlendioxyds geschaffener Kugelapparat[1]) das Symbol der organischen Chemie geworden ist.

Wie zur Elementaranalyse, so hatte Lavoisier auch zur ersten Theorie der organischen Verbindungen den Anstofs gegeben. In dem chemischen Lehrgebäude dieses Forschers spielte bekanntlich der Sauerstoff die wichtigste Rolle. Denjenigen Bestandteil einer Verbindung, welcher nach Abzug des Sauerstoffs übrig bleibt, nannte Lavoisier die Basis oder das Radikal derselben. Für die anorganischen Körper ergab sich in der Regel, dafs dieses Radikal ein Element ist, während es bei dem Tier- und Pflanzenreich entstammenden Substanzen aus zwei oder mehr Grundstoffen besteht. Eine wesentliche Stütze erhielt diese Ansicht, als Gay-Lussac in dem Cyan eine solche Gruppe erkannte, welche in einer gröfseren Anzahl von Verbindungen die Rolle eines Elementes spielt.

Als die eigentlichen Schöpfer der Radikaltheorie sind jedoch Liebig und Wöhler zu bezeichnen. In einer gemeinschaftlichen Arbeit über die Benzoësäure[2]) wiesen beide nach, dafs eine Anzahl aus dem Bittermandelöl darstellbarer Verbindungen, darunter die

---

1) Siehe Liebigs Anleitung zur Analyse organischer Körper. Braunschweig 1837. 2. Aufl. 1853.

2) Wöhler und Liebig, Untersuchungen über das Radikal der Benzoësäure, in den Annalen der Pharmacie. Bd. 3, Seite 249 ff. Neuerdings herausgegeben von Hermann Kopp als Nr. 22 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1891.



Benzoësäure, ein aus drei Elementen bestehendes Radikal enthalten, von denen das eine Sauerstoff ist. Der seit Lavoisier festgehaltene Gesichtspunkt, nach welchem dieses Element den Radikalen gegenüber eine besondere Stelle einnimmt, mufste somit aufgegeben werden. Dafür hatte aber die organische Chemie, die ihre Hauptaufgabe zunächst in der Zurückführung der stetig wachsenden Schar ihrer Verbindungen auf unveränderliche Atomgruppen erblickte, einen gewaltigen Impuls empfangen, sodafs Berzelius von jener Abhandlung der beiden deutschen Forscher wohl sagen durfte, dafs sie für die Chemie der Kohlenstoffverbindungen den Anfang eines neuen Tages ankünde.

Liebigs wissenschaftlicher Bedeutung entsprach seine hervorragende Lehrthätigkeit. Im Alter von 21 Jahren war Liebig (geboren am 13. Mai 1803 zu Darmstadt), nachdem er seine Vorbildung im Laboratorium Gay-Lussacs abgeschlossen hatte, Professor an der Universität Giefsen geworden. Hier entstand nach seinen Plänen das erste chemische Laboratorium in Deutschland und eine Schule, welche diesem Lande die führende Rolle auf dem Gebiete der chemischen, insbesondere der organisch-chemischen Forschung bis auf den heutigen Tag gesichert hat. „Ein eigentlicher Unterricht“, schrieb Liebig später[1]), „bestand nur für die Anfänger. Meine speziellen Schüler lernten nur im Verhältnis zu dem, was sie mitbrachten. Ich gab die Aufgaben und überwachte die Ausführung. Eine eigentliche Anleitung gab es nicht; ich empfing von jedem einzelnen jeden Morgen einen Bericht über das, was er am vorhergehenden Tag gethan, sowie seine Ansichten über das, was er vorhatte. Ich stimmte bei oder machte Einwendungen. Jeder war genötigt, seinen eigenen Weg selbst zu suchen.“ Das ist die wahre akademische Freiheit, welche Liebig hier gepredigt und geübt hat. Wissenschaftlich reif werden, heifst ihre Losung; und dafs sich zahlreiche Jünger herandrängten und im Geiste Liebigs weiterarbeiteten, hat der Chemie in wenigen Dezennien jene aufserordentliche, sich über alle Gebiete der übrigen Naturwissenschaften und der Praxis erstreckende Bedeutung gegeben, welche sie heute besitzt. Von dem Wesen seiner Wissenschaft suchte Liebig auch in dem gebildeten Laien eine Vorstellung zu erwecken, und zwar geschah dies durch seine chemischen Briefe, ein Werk, das zu dem Besten gehört,

[1]) J. v. Liebigs biographische Aufzeichnungen. Vergl. die Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft. XXIII,785.



was je auf dem Gebiete der populär-wissenschaftlichen Litteratur geschaffen wurde, und auch heute noch gelesen zu werden verdient[1]).

Mit dem einzigen Deutschen, der an ihn auf dem Gebiete der Chemie heranreichte, mit Friedrich Wöhler[2]), wurde Liebig durch eine der folgenreichsten Kontroversen bekannt. Liebigs erste Arbeit betraf das durch seine explosiven Eigenschaften sehr gefährliche Knallsilber. Kurz vorher hatte Wöhler das völlig harmlose cyansaure Silber untersucht. Als Liebig die Analysen beider Salze verglich, stellte sich heraus, dafs diese grundverschiedenen Verbindungen völlig gleich zusammengesetzt sind. Da ein Irrtum, den Liebig anfangs vermutet hatte, nicht vorlag, so mufste der bis dahin geltende Grundsatz, dafs Substanzen von derselben qualitativen und quantitativen Zusammensetzung identisch seien, aufgegeben werden. Die Erscheinung wurde als Isomerie bezeichnet und aus einer verschiedenartigen Anordnung der Atome erklärt. Damit war die Frage nach der Konstitution der organischen Verbindungen, welche eine Triebfeder für alle weiteren Forschungen auf diesem Gebiete geworden ist, in den Vordergrund des Interesses gerückt.

Wöhlers Untersuchungen über die Cyansäure führten bald darauf zu einer Entdeckung von solcher Bedeutung, dafs man mit ihr wohl die neuere Epoche der organischen Chemie anheben läfst. Bis zum Jahre 1828 herrschte die Ansicht, dafs die Substanzen des Tier- und Pflanzenreiches nur unter der Mitwirkung einer besonderen, zu den Kräften der organischen Natur in einem gewissen Gegensatz stehenden Lebenskraft gebildet werden könnten. Berzelius hatte noch im Jahre 1827 die organische Chemie als die Wissenschaft von denjenigen Körpern definiert, die unter dem Einflufs der Lebenskraft entständen. Ein Jahr später konnte Wöhler an ihn schreiben: „Ich mufs Ihnen erzählen, dafs ich Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier nötig zu haben.“ Dieser ersten Synthese einer organischen Verbindung, welche in einer intramolekularen Umwandlung des cyansauren Ammoniums in Carbamid (Harnstoff)[3]) bestand, hat sich

---

1) J. v. Liebig, chemische Briefe erschienen 1844 und erlebten seitdem viele Neuauflagen und Übersetzungen.

2) Über Wöhlers Leben siehe die Einleitung zum 45. Abschnitt des I. Bandes.

3) $$\underset{\text{Cyansaures Ammonium}}{CNO.NH_4} = \underset{\text{Harnstoff.}}{CO<\begin{matrix}NH_2\\NH_2\end{matrix}}$$

später die Darstellung einer grofsen Anzahl von organischen Substanzen angeschlossen. Infolgedessen ist der Glaube an eine besondere Lebenskraft der Überzeugung gewichen, dafs die Umsetzungen in den Organismen von denselben Regeln beherrscht werden, wie die leichter unserem Verständnis sich erschliefsenden Vorgänge in der anorganischen Natur, sodafs einer einheitlichen Auffassung des gesamten Geschehens auch durch die moderne Chemie vorgearbeitet wurde.

Von dem Gedanken geleitet, dafs das Studium der in den Gewächsen sich abspielenden Veränderungen am ehesten die Erkenntnis des Lebensprozesses ermöglichen werde, hatte Stephan Hales die ersten Schritte zur Begründung einer Ernährungsphysiologie der Pflanzen unternommen. Ein erfolgreiches Eindringen in diesen Gegenstand war jedoch erst möglich, nachdem die Rolle des Sauerstoffs erkannt und die Chemie auf eine wissenschaftliche Grundlage erhoben war. Schon vor der Entdeckung des Sauerstoffes hatte Priestley beobachtet, dafs durch den Atmungsprozefs oder durch ein brennendes Licht „verdorbene" Luft wieder „heilsam" gemacht werde, wenn Pflanzen darin wachsen. D. h. Luft, in welcher ein Licht erlosch, wurde durch die Pflanzen in solchem Grade verbessert, dafs das Licht wieder darin fortbrannte. Im Zusammenhange mit dieser Thatsache fand Priestley, dafs die in den Blasen des Seetangs befindliche Luft sogar „besser" als die atmosphärische Luft ist. Als ein Anzeichen für die „Güte" der Luft diente ihm dabei bekanntlich die Zusammenziehung, welche sich in seinem Salpetergaseudiometer einstellte[1]).

Der eigentliche Entdecker der Assimilation und der Atmung der Pflanzen ist der Holländer Ingenhoufs (1730—1799), welcher im Jahre 1779 eine ausführliche Arbeit[2]) über diesen Gegenstand veröffentlichte. Ingenhoufs lieferte darin den Nachweis, dafs die meisten Pflanzen die verdorbene Luft im Sonnenlichte schnell verbessern, dafs sie dagegen zur Nachtzeit Kohlendioxyd ausscheiden oder die Luft unrein machen, wie er sich damals, bevor die antiphlogistische Lehre bekannt geworden war, noch ausdrückt. Die Verbesserung der Luft geht nach Ingenhoufs jedoch nur von den grünen Stengeln und Blättern, und zwar besonders von der unteren Seite der letzteren aus; sie besteht in der Abscheidung von Sauerstoff, welcher das zur Nachtzeit ausgeatmete Kohlen-

1) Siehe Seite 290 ds. Bds.

2) Ingenhoufs, Versuche mit Pflanzen; übersetzt von Scherer, 1786.

dioxyd (von Ingenhoufs noch als schädliche Luft bezeichnet) an Menge mehrere hundert Mal übertrifft. Hieran schlofs sich dann die Erkenntnis [1]), dafs der ausgeschiedene Sauerstoff von der Zersetzung des Kohlendioxyds herrührt, welches durch die Prozesse der Verbrennung, Atmung und Gärung in die atmosphärische Luft gelangt.

Nachdem auch für die Chemie das Zeitalter der quantitativen Untersuchungen gekommen war, galt es, die neue Methode auf die ihrem qualitativen Verlaufe nach erkannten Vorgänge der Ernährungsphysiologie anzuwenden. Dafs dies geschah, ist das Verdienst Saussures, mit dessen Werk [2]) der Leser durch den 35. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist. Saussure bemerkte, dafs die Pflanzen, während sie Kohlenstoff assimilieren, gleichzeitig die Elemente des Wassers sich aneignen, welches dabei seinen flüssigen Zustand verliert und zur Vermehrung der Trockensubstanz beiträgt. Seine Untersuchungen betrafen ferner die Aufnahme gelöster Bodenbestandteile durch die Wurzeln, sowie die Zusammensetzung der Pflanzenasche. Saussure hatte ermittelt, dafs die Pflanzen ihre mineralischen Nährstoffe nicht nur den Salzlösungen des Bodens, sondern zum Teil auch dem Humus, d. h. der in der Erde verwesenden Substanz abgestorbener Pflanzenteile entnehmen. Die Bedeutung der letzteren wurde indes während der ersten Dezennien des 19. Jahrhunderts überschätzt. Es bildete sich eine Theorie heraus, welche in dem Humus den wichtigsten Nährstoff der Pflanzen erblickte und in der widersinnigen Annahme gipfelte, dafs der Humusgehalt des Bodens durch die Vegetation allmählich erschöpft werde. An diesem Punkte setzte Liebig ein. „Seine Hand, welche niemals einen Pflug geführt, lieferte der ältesten aller menschlichen Gewerbthätigkeiten, dem Ackerbau, den Schlüssel zum Verständnis tausendjähriger Gepflogenheiten [3]).“ Durch die Ernte werden dem Boden anorganische Bestandteile entzogen. Da dieselben unerläfsliche Nährstoffe für die Pflanzen sind, so mufs es als Prinzip des Ackerbaues gelten, dem Boden in vollem Mafse dasjenige wiederzugeben, was ihm genommen wird. Auf welche

---

[1]) Durch Senebier; siehe Bd. I, Seite 213.

[2]) Théodore de Saussure, Recherches chimiques sur la vegetation. Paris 1804. Übersetzt herausgegeben von Dr. A. Wieler als 15. und 16. Band von Ostwalds Klassikern.

[3]) Wie A. W. v. Hofmann auf der 63. Vers. deutscher Naturf. und Ärzte sich ausdrückte. Siehe auch v. Hofmann, J. v. Liebig und Fr. Wöhler, zwei Gedächtnisreden. Leipzig 1891. Seite 24.

Art diese Wiedergabe erfolgt, ob in der Form von Exkrementen, in welchen die Tiere die von den Pflanzen erhaltenen Mineralbestandteile wieder ausscheiden, ob als Asche, Knochen u. s. w. ist ziemlich gleichgültig. Man wird daher den Acker auch mit kieselsaurem Alkali, phosphorsaurem Salz und ähnlichen Präparaten düngen können, die sich in chemischen Fabriken herstellen lassen. Der Erfolg sollte bald die Richtigkeit dieser von Liebig vorgetragenen Lehren beweisen. Landwirtschaftliche Versuchsanstalten wurden überall errichtet; um den Bedarf an künstlichem Dünger zu decken, trat eine wichtige Industrie ins Leben. Nicht minder aber wurde durch die Ausdehnung wissenschaftlicher Grundsätze auf das Gebiet der Gewerbthätigkeit einer einheitlichen Betrachtung der gesamten Erscheinungswelt der Boden bereitet.

Letzteres geschah in gleichem Mafse durch die enge Verknüpfung, welche die Botanik und die Zoologie erfuhren, indem Schwann den Nachweis lieferte, dafs sämtliche Organismen aus denselben Elementargebilden zusammengesetzt sind. Mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts war die seit den Zeiten Malpighis und Grews vernachlässigte mikroskopische Forschung wieder in den Vordergrund getreten. Während die älteren Beobachter das Hauptgewicht auf die formbestimmende Zellwand gelegt hatten, erkannte man die letztere jetzt als das Sekundäre und den Zellinhalt als den eigentlichen Sitz der Lebensprozesse. Die schon während des 18. Jahrhunderts[1]) in der Pflanzenzelle wahrgenommenen Bewegungen wurden als eine Cirkulation dieses Zelleninhaltes oder Protoplasmas gedeutet. Man bemerkte, dafs ein Teil des letzteren eine gewisse Beständigkeit besitzt und nannte diesen den Kern[2]). Auf die Ähnlichkeit des Gefüges gewisser tierischer Gewebe mit dem zelligen Bau der Pflanzen war schon öfter hingewiesen worden, als Schwann es unternahm, durch seine sich über alle Teile des Tieres erstreckenden „Mikroskopischen Untersuchungen“[3]) die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum aller Lebewesen darzuthun. Nach Schwanns Ausspruch ist die Zellenbildung das gemeinsame Entwicklungsprinzip für die verschiedensten Teile der Organismen. Diese kühne Verallgemeinerung, deren Nachweis bis in alle Einzelheiten erst im Laufe der nachfolgenden Dezennien geschehen konnte, hat nicht weniger wie alle übrigen in diesem

---

1) Von Corti, 1772.

2) Robert Brown, 1831.

3) Siehe Bd. I ds. Grdrs., Seite 286 ff.

Abschnitt dargestellten Fortschritte das wissenschaftliche Denken in neue Bahnen lenken helfen.

Die Beseitigung mystischer Vorstellungen, sowie die Zurückführung alles Geschehens auf sicher gestellte, aus der Erfahrung geschöpfte Begriffe wurde jetzt zur Parole. Ihr gegenüber konnte auch die Geologie, welche von jeher ein beliebter Tummelplatz der Hypothesen gewesen war, nicht länger an der Katastrophentheorie Cuviers[1]) und seiner Annahme wiederholter Schöpfungen festhalten. Hervorgerufen durch Lyell[2]) entstand die neuere Richtung dieser Wissenschaft. Unter der Voraussetzung, dafs die gestaltenden Kräfte während der verflossenen und der heutigen Periode gleichartig gewesen und der gesamte Naturverlauf ohne Unterbrechung vor sich gegangen sei, erklärte man jetzt die gewaltigen Veränderungen, welche die Erdrinde aufweist, aus der vieltausendfachen Summierung unbedeutender Einflüsse. Der Unterschied der Faunen und Floren früherer Perioden von der heutigen Lebewelt blieb dabei zunächst zwar ein Rätsel, bis die schon von Lamarck behauptete Verknüpfung aller organischen Bildungen in der Lehre vom Transformismus zur Anerkennung gelangte[3]).

Einen beredten Ausdruck fand das in dieser Zeit zum Durchbruch kommende Bestreben, „die körperlichen Dinge in ihrem allgemeinen Zusammenhange aufzufassen“ in Alexander von Humboldts Kosmos. Die Aufgabe, eine physische Weltbeschreibung zu liefern, wurde durch dieses Werk zwar glänzend gelöst. Die Natur als ein „durch innere Kräfte bewegtes und belebtes Ganze[4])“ zu erkennen, ward aber der Wissenschaft erst beschieden, nachdem Robert Mayer, Joule und Helmholtz das Prinzip von der Erhaltung der Kraft gefunden hatten.

Mayer[5]) ging bei der Aufstellung dieses Prinzips von physiologischen Beobachtungen aus. Als er sich im Jahre 1840 in Java befand, fiel es ihm bei Aderlässen auf, dafs das Blut der Armvene

---

[1]) Siehe Bd. I, 43. Abschnitt.

[2]) Siehe Bd. I, 44. Abschnitt.

[3]) Siehe Seite 398 ds. Bds.

[4]) A. v. Humboldt, Kosmos, I. Band, S. VI.

[5]) Julius Robert Mayer wurde am 25. November 1814 zu Heilbronn geboren. Nach Beendigung seiner medizinischen Studien unternahm er eine Reise als Schiffsarzt, worauf er sich in seiner Vaterstadt niederliefs. Als um 1850 das Prinzip von der Erhaltung der Kraft zur allgemeinen Annahme gelangte, wurde Mayers Verdienst um die Aufstellung desselben zunächst nicht anerkannt. Der Prioritätsstreit mit Joule versetzte ihn in eine tiefe Gemütsverstimmung. Erst gegen das Ende seines Lebens (er starb am 20. März

eine ungemeine Röte besafs, sodafs man glauben konnte, eine Arterie getroffen zu haben[1]). Den ansässigen europäischen Ärzten war dieses Verhalten des Blutes von Personen, welche den Übergang aus einem gemäfsigten Klima zur Glut der Tropen durchmachen, wohl bekannt, ohne dafs dadurch ihr Nachdenken besonders rege geworden, während Mayer, ausgehend von dieser scheinbar unbedeutenden Beobachtung, zu dem tiefsten Einblick in den Zusammenhang des Naturganzen gelangen sollte. Indem er die Farbenänderung, welche das Blut in den Kapillargefäfsen erleidet, als den sichtbaren Reflex der in dem Körper vor sich gehenden Oxydation betrachtete[2]), kam Mayer auf den Gedanken, nach einer Gröfsenbeziehung zwischen der Wärmeentwicklung und dem oxydierten Material zu suchen, um, wie er sich ausdrückt, die Bilanz zwichen Leistung und Verbrauch des Organismus zu ziehen. Da nun ein Tier auch die Fähigkeit besitzt, Wärme auf mechanische Art z. B. durch Reibung hervorzurufen, so erhebt sich die Frage, ob die gesamte, teils unmittelbar, teils auf mechanischem Wege, vom Organismus erzeugte Wärme dem im Körper vor sich gehenden Verbrennungseffekte quantitativ entspricht oder äquivalent ist. Wenn wir dies bejahen, so ist auch zu vermuten, dafs die zur Gewinnung von Wärme auf mechanischem Wege aufgewandte Arbeit einem bestimmten Bruchteil dieses Effektes entsprechen wird. So wurde Mayer darauf geführt, aus der physiologischen Verbrennungstheorie auf eine unveränderliche Gröfsenbeziehung zwischen Wärme und Arbeit zu schliefsen. Die physikalische Forschung war damals schon auf dem Punkte angelangt, dafs Mayer, ohne selbst Versuche anzustellen, das Äquivalent zwischen Wärme und Arbeit aus den vorhandenen Daten zu berechnen vermochte. Aus der Wärmemenge, die verbraucht wird, wenn ein Gas mit Überwindung eines darauf lastenden Druckes, also unter Leistung von Arbeit, sich ausdehnt, ergab sich, dafs diejenige Arbeit, welche zum Emporheben eines Gewichtes auf die Höhe von 365 Metern erforderlich ist, einer Wärmemenge äquivalent ist, welche die Temperatur des gleichen Gewichtes Wasser von 0° auf

des Jahres 1878) wurden Mayers Ansprüche gewürdigt. Sogar die Royal Society ehrte ihn durch Übersendung einer Medaille. Die neueste Ausgabe der Schriften samt einer ausführlichen Biographie Mayers verdanken wir J. J. Weyrauch. Stuttgart 1893.

[1]) R. Mayer, Die Mechanik der Wärme, Seite 105 (Weyrauchs Ausgabe).

[2]) a. a. O., Seite 244.

1° erhöhen würde[1]). Spätere Versuche haben für dieses mechanische Wärmeäquivalent den Wert von 425 Kilogrammmetern ergeben.

Die Abhandlung, in welcher Mayer seine Anschauungen entwickelte, hatte das unverdiente, aber unter den näheren Umständen begreifliche Mifsgeschick, dafs ihr die Spalten einer physikalischen Zeitschrift verschlossen blieben. Sie wurde im Jahre 1842 in Liebigs Annalen der Chemie abgedruckt und von den Fachgelehrten zunächst nicht weiter beachtet. Einige Jahre später erschien eine gröfsere Arbeit Mayers, in der er das Prinzip von der Äquivalenz auf die Gesamtheit der Naturerscheinungen ausdehnte[2]) und der Wärme, der Elektricität und den übrigen „Imponderabilien" die Materialität unbedingt absprach. „Es giebt", sagt Mayer, „in der Natur eine gewisse Gröfse von immaterieller Beschaffenheit, welche bei allen zwischen den beobachteten Objekten stattfindenden Veränderungen ihren Wert behält, während ihre Erscheinungsform auf das Vielseitigste wechselt." Diese Gröfse wurde zuerst als „Kraft" und das von Mayer in obigen Worten ausgesprochene Gesetz als das Prinzip von der Erhaltung der Kraft bezeichnet. In seiner heutigen Fassung lautet dieses Grundprinzip: Die Energie des Weltalls ist konstant.

Von einem anderen Gebiete ausgehend und seine Folgerungen auf eine grofse Zahl sinnreicher Experimente stützend, gelangte der Engländer Joule fast zur selben Zeit wie Robert Mayer zur Erkenntnis der Äquivalenz zwischen Wärme und Arbeit. Joule[3]) befafste sich seit 1840 mit der Wärmewirkung des galvanischen Stromes[4]). Er fand dieselbe dem Widerstande und dem Quadrat der Stromintensität proportional. Diese Untersuchung wurde auch auf Induktionsströme ausgedehnt, indem Joule die Erwärmung mafs, welche eine gewisse Menge Wasser infolge der Wirkung dieser Ströme erfuhr. Da die letzteren durch die Drehung einer magnet-elektrischen Maschine, also unter Aufwand von mechanischer Arbeit erzeugt wurden, so kam Joule auf den Gedanken, die Kraft, welche seinen Apparat in Bewegung setzte.

---

[1]) Mayer, Mechanik der Wärme, Seite 55.

[2]) Mayer. Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. 1845. Der 57. Abschnitt des I. Bandes ist eine auszugsweise Wiedergabe dieser wichtigen Schrift Mayers.

[3]) James Prescott Joule wurde am 24. Dezember 1818 zu Salford bei Manchester geboren und starb am 11. Oktober 1884.

[4]) On the production of heat by voltaic electricity. Proceedings of the Royal Society. 1840.

zu bestimmen und mit der erzeugten Wärmemenge zu vergleichen. Seine Versuche ergaben, dafs diejenige Wärme, welche die Temperatur von einem Pfund Wasser um 1° Fahrenheit erhöht, einer mechanischen Kraft entspricht, die ein Gewicht von 838 Pfund einen Fufs hoch zu heben vermag[1]). Dieses „mechanische Wärmeäquivalent" ermittelte Joule auch, indem er Wasser durch enge Röhren trieb. Im letzteren Falle wurde die Temperatur von einem Pfund Wasser schon bei einem Kraftaufwand von 770 Fufspfund[2]) um einen Grad erhöht. „Ich werde keine Zeit verlieren", sagt Joule am Schlusse seiner Abhandlung vom Jahre 1843, „diese Versuche zu wiederholen und auszudehnen, da ich überzeugt bin, dafs die gewaltigen Naturkräfte durch des Schöpfers Werke unzerstörbar sind, und dafs man immer, wo man eine mechanische Kraft aufwendet, ein genaues Äquivalent an Wärme erhält." Joule hat Wort gehalten und seine Experimente über diesen Gegenstand bis zum Jahre 1878 fortgesetzt. Seine letzten Bestimmungen ergaben für jenes Äquivalent einen Wert von 772,33 Fufspfund[3]).

Angeregt durch physiologische Untersuchungen, wie Robert Mayer, gelangte 1847 der damals 26 Jahre alte Helmholtz[4]) zu derselben grofsen Verallgemeinerung, welche jener zuerst ausgesprochen und Joule für einige Gebiete der Physik durch seine Versuche als gültig dargethan hatte. Helmholtz stellte sich die Aufgabe, das in die Mechanik schon von Huygens eingeführte Prinzip vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile auf das gesamte Gebiet der Naturlehre zu übertragen. Obgleich sich die betreffende Arbeit von Helmholtz durch die mathematische Behandlung des Gegenstandes und ihre streng wissenschaftliche Sprache von den Werken Mayers vorteilhaft unterscheidet, fand sie gleichfalls in den Annalen der Physik keinen Platz, sondern gelangte als selbst-

---

[1]) Das mechanische Wärmeäquivalent, gesammelte Abhandlungen von J. P. Joule, übersetzt von Spengel, 1872. Seite 37.

[2]) a. a. O., Seite 39.

[3]) Beiblätter der Annalen der Physik. II, 1878, Seite 248.

[4]) Hermann v. Helmholtz wurde am 31. August 1821 als Sohn eines Gymnasiallehrers in Potsdam geboren. Nachdem er in Königsberg, Bonn und Heidelberg die Professur für Physiologie bekleidet hatte, wurde er im Jahre 1871 als Professor der Physik an die Universität Berlin berufen. Während der letzten Jahre seines Lebens leitete Helmholtz die Physikalisch-technische Reichsanstalt zu Charlottenburg, ein Institut, welches er unter der Mitwirkung von Werner Siemens ins Leben gerufen. Helmholtz starb am 8. September 1894.

ständige Schrift zur Veröffentlichung[1]). Diese Zurückhaltung der Fachkreise, der auch Joule bei den englischen Physikern und Chemikern anfangs begegnete, darf man nicht ohne weiteres für unberechtigt halten. Zweifel und Bedenken sind in unserem Zeitalter nicht mehr imstande, das Licht einer neuen Wahrheit zu ersticken, sondern sie haben oft genug dazu beigetragen, dafs dasselbe bald darauf in hellem Glanze erstrahlen konnte. Auch der Umstand mufste für die neue Lehre sprechen, dafs mehrere Forscher, ohne mit einander in Verbindung zu stehen, und von den verschiedensten Gesichtspunkten ausgehend, schliefslich zu ihr durchgedrungen waren. Unsere Ausführungen haben ferner gezeigt, dafs der Fortschritt der gesamten Naturwissenschaften auf eine Verknüpfung, wie sie in dem Prinzip von der Erhaltung der Energie zum Ausdruck kam, hindrängte, und das Verdienst des Einzelnen demgegenüber nicht in solchem Mafse in den Vordergrund gerückt erscheint, wie es bei manchen anderen grofsen Entdeckungen und Verallgemeinerungen der Fall ist.

Dem gewaltigen Aufschwung, welcher sich auf dem Gebiete der Naturwissenschaften seit der Wende des Jahrhunderts vollzog, entsprach neben der wachsenden Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen auch ein sich stetig vergröfsernder Einflufs auf den gesamten Kulturzustand unseres Zeitalters. Auf die Frage: „Wozu nützt das?“ lautete Faradays Antwort: „Bemüht Euch, es nutzbringend zu machen!“ Den aus einer rein wissenschaftlichen Thätigkeit entspringenden Entdeckungen des Forschers sind die Erfindungen meist auf dem Fufse gefolgt. So entwickelte sich auf dem Boden der Naturlehre die moderne Technik. Wohlstand und Behaglichkeit verbreitend schuf diese wiederum die Mittel zur Förderung exakter Arbeiten und zur Verbreitung einer in immer tiefere Schichten der Bevölkerung eindringenden naturwissenschaftlichen Bildung.

In den Anfang dieser Periode fallen die ersten Schritte zur Begründung des chemischen Grofsgewerbes. Das Haupterzeugnis derselben, die Schwefelsäure, welche den technischen Ausgangspunkt für viele Industriezweige bildet, stellte man schon seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts durch den Bleikammerprozefs in gröfserem Mafse her[2]). Ein rationelles Verfahren konnte jedoch

[1]) H. Helmholtz, Über die Erhaltung der Kraft. Berlin 1847. Neu herausgegeben als 1. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1889.

[2]) Die Bleikammern wurden 1746 von Roebuck eingeführt, vorher waren Glasgefäfse in Gebrauch.

erst Platz greifen, nachdem Gay-Lussac und Glover die nach ihnen benannten, zur Wiedergewinnung der niederen Oxyde dienenden Türme eingeführt hatten. Durch die fabrikmäfsige Darstellung der Schwefelsäure wurde nun auch die lange angestrebte Gewinnung der Soda aus Kochsalz ermöglicht. Im Jahre 1791 gründete der Franzose Leblanc die erste Sodafabrik und rief damit eine neue Industrie ins Leben, welche besonders in England mächtig emporblühte und als wichtiges Nebenprodukt die Salzsäure lieferte. Die Verbilligung der zuletzt genannten Säure hatte wiederum zur Folge, dafs sich das Gebiet der so wichtigen Chlorpräparate erschlofs, von denen das Kaliumchlorat den Anlafs zur Erfindung des ersten chemischen Feuerzeuges bot. Letzteres bestand darin, dafs Holzstücke, welche mit einem Gemisch von Kaliumchlorat und Schwefel versehen waren, durch Eintauchen in Schwefelsäure zur Entzündung gebracht wurden. Das Studium des Platins und seiner Verbindungen führte zu einer zweiten Zündvorrichtung, über welche Döbereiner mit folgenden Worten berichtet[1]: „Läfst man Wasserstoff durch ein Röhrchen auf staubförmiges Platin strömen, sodafs der Strom des Gases sich vor der Berührung des Platins mit atmosphärischer Luft mischt, so wird der Staub fast augenblicklich glühend und bleibt dies, so lange der Wasserstoff ausströmt. Ist der Gasstrom stark, so wird der Wasserstoff entzündet. Dieser Versuch ist höchst überraschend und setzt jeden in Erstaunen. Ich habe diese Beobachtung bereits zur Darstellung eines neuen Feuerzeuges benutzt und werde sie noch zu weit wichtigeren Zwecken verwenden.“ So interessant diese Arten der Feuererzeugung selbst noch heute sind, sie vermochten doch den um 1833 aufkommenden Reibzündhölzchen gegenüber keinen Stand zu halten. Für die letzteren bildeten der nach dem Verfahren Scheeles dargestellte gewöhnliche Phosphor, sowie die ungiftige von Schrötter bereitete rote Modifikation dieses Elementes den technischen Ausgangspunkt[2].

Neben der Schwefelsäure und der Salzsäure kam nach der Erschliefsung der Salpeterlager Südamerikas auch die Salpetersäure in immer gröfseren Mengen in den Handel. Das Studium dieser Säure in ihrem Verhalten zu den organischen Verbindungen hat dann um die Mitte unseres Jahrhunderts zur Erfindung der modernen

---

1) Döbereiner, Über neu entdeckte Eigenschaften des Platins, Schweiggers Journal XXXVIII u. XXXIX.

2) Schrötters Abhandlung über den roten Phosphor erschien in Poggendorffs Annalen vom Jahre 1850. Dieselbe ist im 59. Abschnitt des I. Bandes dieses Grundrisses mit einigen Kürzungen wiedergegeben.

Explosivstoffe geführt. So stellte Schönbein, dessen Verdienst um die Erforschung des Ozons wir schon an anderer Stelle[1]) gewürdigt haben, im Jahre 1846 die Schiefsbaumwolle her. Bald darauf erhielt man durch die Einwirkung der Salpetersäure auf das von Scheele aus den Fetten abgeschiedene Glycerin das furchtbarste Sprengmittel, das Nitroglycerin[2]), dessen Gefährlichkeit später Nobel dadurch herabminderte, dafs er es in Dynamit verwandelte.

Als im Beginn des 19. Jahrhunderts der Dampf zu einem allgemeinen Betriebsmittel wurde, begann gleichfalls von England aus die Leuchtgasindustrie sich zu verbreiten. Diese Industrie erfüllte nicht nur ihre eigentliche Aufgabe, indem sie Wohnungen und Strafsen mit einem Licht versah, das alle bisherigen Beleuchtungsarten in den Schatten stellte, sondern sie rief auch durch die Fülle ihrer Nebenerzeugnisse neue Gewerbe, ja sogar einen neuen Zweig der chemischen Wissenschaft ins Leben: In dem wässerigen Produkt der Destillation der Steinkohle erhielt man eine Quelle für das Ammoniak und die Ammonsalze, während aus dem Studium der zahllosen in dem Teer befindlichen Substanzen die Chemie der aromatischen Verbindungen erwuchs. Das wichtigste Glied in der Reihe dieser Verbindungen war durch einen sonderbaren Zufall in die Hände Faradays gelangt, welcher sich im Beginn seiner wissenschaftlichen Laufbahn vorzugsweise mit chemischen Untersuchungen beschäftigte. Während der zwanziger Jahre existierten noch keine ausgedehnten Leitungen, sondern das Gas wurde den Konsumenten im komprimierten Zustande in die Wohnung geliefert. Dabei stellte sich heraus, dafs die Leuchtkraft schnell abnahm. Faraday, mit der Untersuchung dieser Erscheinung betraut, fand, dafs sich aus dem Gase ein flüssiger Körper abscheidet, dessen Dampf die Leuchtkraft bedingt. Dieselbe aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehende Substanz wurde einige Jahre später aus der Benzoësäure dargestellt[3]) und als Benzol bezeichnet. Die Wichtigkeit dieser Verbindung und ihrer Derivate für die weitere Entwicklung der theoretischen und technischen Chemie kann hier nur angedeutet werden.

---

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 58.

2) Dasselbe wurde von Sombrero im Jahre 1847 bei der Einwirkung von Salpetersäure auf Glycerin entdeckt, indes erst 1862 von Nobel als Sprengstoff in die Technik eingeführt.

3) Die Darstellung des Benzols durch Erhitzen der Benzoësäure mit Ätzkalk lehrte Mitscherlich kennen: $C_6H_5 . COOH + CaO = CaCO_3 + C_6H_6$. Der Name Benzol rührt von Liebig her.

Ungeahnte Früchte sollten auch die Beobachtungen über die Wirkung des Lichtes auf die Silbersalze tragen. Dafs die Haut durch eine Lösung von Silbernitrat geschwärzt wird, war schon im Mittelalter bekannt. Auch kannte man die Farbenänderung, welche das Chlorsilber erfährt[1]), schon seit langer Zeit. Dafs man es hier mit einer Wirkung des Lichtes zu thun habe, wurde im Beginn des 18. Jahrhunderts bemerkt[2]). Später folgte die Beobachtung, dafs sich diese chemische Wirkung des Lichtes nicht gleichmäfsig über alle Teile des Spektrums verbreitet, und sich sogar über das Violett hinaus erstreckt[3]).

Die ersten Versuche, dieses Verhalten zur Herstellung von Bildern zu verwenden, scheiterten an dem Umstande, dafs man das unveränderte Silbersalz nicht zu entfernen vermochte. Erst die Jahrzehnte währenden vereinten Bemühungen der Franzosen Nièpce und Daguerre führten zu einem befriedigenden Ergebnis. Das Verfahren derselben wurde Daguerrotypie genannt und bestand darin, dafs man das Bild einer Camera obscura auf eine versilberte Platte wirken liefs, auf welche man zuvor durch Joddämpfe eine Jodsilberschicht hervorgerufen hatte. Ein merkwürdiger Zufall führte zur Entdeckung einer Art von Entwicklungsverfahren. Kurze Zeit belichtete Platten, welche kaum Spuren einer Änderung zeigten, hatte man in einen Schrank gelegt, in welchem etwas Quecksilber verschüttet war. Als man diese Platten wieder herausnahm, war auf ihnen ein deutliches Bild desjenigen Gegenstandes zu erblicken, dessen Strahlen vorher gewirkt hatten. Erst nach langem Kopfzerbrechen erkannte man das Quecksilber, dessen Dämpfe sich an den belichteten Stellen niederschlugen, als die Ursache dieser alles in Erstaunen setzenden Erscheinung.

Das von Daguerre herrührende Verfahren wurde seit der Mitte des Jahrhunderts durch die von dem Engländer Talbot erfundene Papierphotographie verdrängt. Über den Entwicklungsgang, welchen diese Erfindung genommen, ist der Leser durch den 48. Abschnitt des ersten Bandes unterrichtet worden. Die Bilder, deren Herstellung Talbot dort beschreibt, waren Negative, aus denen sich beliebig viele Positive gewinnen liefsen. Die Photographie war dadurch zu einer vervielfältigenden Kunst geworden. So lange

---

1) Die Schwärzung der Haut durch Silberlösung kannte schon Albertus Magnus. Boyle erwähnt die Farbenänderung, welche das Chlorsilber erleidet (1663), schrieb dieselbe aber dem Einflufs der Luft zu.

2) 1727 durch J. H. Schulze, Professor in Halle.

3) Siehe Seite 341 ds. Bds.

aber das Papier der einzige Träger der lichtempfindlichen Substanz war, blieb das Verfahren recht unvollkommen. Es wurde erst lebensfähig, als man zur Herstellung des Negativs Collodium verwandte (1851), welches infolge seiner Durchsichtigkeit die Gewinnung scharf begrenzter Positive ermöglichte.

Welche Bedeutung diese „kleine Erfindung“, wie sie in dem im ersten Bande mitgeteilten Bericht genannt wird[1]), für die Kunst, die Wissenschaft und das praktische Leben gewinnen sollte, konnte Talbot damals freilich noch nicht ahnen. Wir werden diese Bedeutung erst ermessen können, wenn uns in den letzten Abschnitten die Aufgaben der allerneuesten Zeit und des Tages beschäftigen, zu deren Bewältigung die Photographie in ganz hervorragendem Mafse beigetragen hat.

Schon in der geschilderten, bis etwa zur Mitte des Jahrhunderts reichenden Periode zeigte es sich, dafs auch die aus rein theoretischem Interesse unternommenen Forschungen auf dem Gebiete der Elektricitätslehre eine Fülle von nützlichen Anwendungen im Gefolge haben sollten. So knüpft sich an den Namen Gaufs die Erinnerung an den ersten elektromagnetischen Telegraphen. „Ich weifs nicht“, schrieb dieser Forscher am 8. November des Jahres 1833 an Olbers, „ob ich Ihnen schon über eine grofsartige Vorrichtung berichtete, die wir[2]) gemacht haben: Es ist eine galvanische Kette zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinet über die Häuser hinweggezogen. Die ganze Drahtlänge wird etwa 8000 Fufs betragen. An den beiden Enden ist sie mit einem Multiplikator verbunden. Ich habe eine einfache Vorrichtung ausgedacht, wodurch ich augenblicklich den Weg des Stromes umkehren kann; ich nenne sie Kommutator. Wir haben dieselbe bereits zu telegraphischen Versuchen gebraucht, welche mit ganzen Worten und einfachen Phrasen sehr gut gelungen sind. Ich bin überzeugt, dafs auf diese Weise auf einen Schlag von Göttingen nach Hannover oder von Hannover nach Bremen telegraphiert werden kann.“

Auch die chemische Wirkung der Elektricität erfuhr um diese Zeit eine wichtige Anwendung, indem Jacobi[3]) ein Verfahren zur Herstellung von Kopien fand, das er mit dem Namen Galvanoplastik belegte. Jacobis Bemühungen, die Elektricität als Trieb-

[1]) Siehe Bd. I, Abschnitt 48.

[2]) Gaufs und Weber.

[3]) M. H. v. Jacobi, geboren den 21. September 1801 in Potsdam, gestorben den 10. März 1874 zu Petersburg. Siehe seine Schrift: „Die Galvanoplastik. St. Petersburg 1840.



kraft zu benutzen, hatten keinen praktischen Erfolg, doch gelang ihm die Herstellung eines elektromagnetischen Bootes, welches mit dreiviertel Pferdekraft auf der Newa fuhr.

Der grofsartige Aufschwung der Elektrotechnik knüpfte erst später an Faradays Erforschung der Magnetinduktion an und wird bei der Schilderung der neuesten Errungenschaften der chemisch-physikalischen Forschung zu berücksichtigen sein. Bevor wir uns indessen dieser Schilderung zuwenden, ist es unsere Aufgabe, den Gang zu verfolgen, welchen die übrigen, früher als „beschreibend" bezeichneten Naturwissenschaften unter dem überwiegenden Einflufs der „exakt" verfahrenden Physik und Chemie genommen haben.

## 7. Die „beschreibenden" Naturwissenschaften nehmen unter dem überwiegenden Einflufs der chemisch-physikalischen Forschung ihren heutigen Charakter an.

Im bisherigen Verfolg der historischen Entwicklung sind uns zwar manche Fälle begegnet, in denen hervorragende Forscher unter Anwendung von Hülfsmitteln der Physik und der Chemie einen tieferen Einblick in die Natur der Pflanzen und Tiere zu gewinnen suchten. Es braucht hier nur an Hales und Borelli, sowie an Saussure und Liebig erinnert zu werden. Dennoch galt bis in die vierziger Jahre des 19. Jahrhunderts das Beschreiben und das Klassifizieren als die Hauptaufgabe der Zoologie und der Botanik. Seitdem haben diese Disziplinen unter dem gewaltigen Aufschwung, den die chemisch-physikalische Forschung genommen, ihren Charakter wesentlich geändert; sie sind zu induktiven Wissenschaften geworden, welche ihre wichtigsten Resultate nicht mehr der Sammelthätigkeit der Museen, sondern den Arbeiten mit allen Mitteln der exakten Forschung ausgestatteter Laboratorien verdanken.

Als Beweis hierfür kann uns die schrittweis gewonnene Einsicht in das Wesen der Gärungs- und Fäulniserscheinungen dienen, in welchen Lavoisier und Gay-Lussac, ja selbst noch Liebig ein rein chemisches Problem erblickt hatten. Nachdem durch Lavoisier der Vorgang der alkoholischen Gärung als ein Zerfall des Zuckers in Alkohol und Kohlendioxyd erkannt worden war, beantwortete Gay-Lussac die Frage nach der Ursächlichkeit dieser Erscheinung, sowie der analogen Fäulnis dahin, dafs der

Sauerstoff der Erreger dieser Prozesse sei. Gay-Lussac stützte sich hierbei auf die bekannte Thatsache, dafs nach dem Auskochen hermetisch abgeschlossene, pflanzliche oder tierische Substanzen unverändert bleiben und erst nach erfolgtem Zutritt der Luft in Zersetzung übergehen. Seine Ansicht wurde dadurch widerlegt, dafs der Deutsche Schwann zu einem ausgekochten Aufgufs Luft hinzutreten liefs, welche er zuvor in einem Metallbade auf mehrere hundert Grad erhitzt hatte[1]). Obgleich bei diesem Versuche Sauerstoff zu dem Aufgufs gelangte, ging der letztere dennoch weder in Gärung, noch in Fäulnis über. Gleichzeitig lenkten Schwann und andere Forscher die Aufmerksamkeit auf die organisierte Natur der Hefe, welche man fortan als eine in der Zuckerlösung vegetierende Pflanze ansah, durch deren Lebensprozefs der Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd zerfällt. Nach einem zweiten Verfahren wurde die Luft, bevor sie zu dem Aufgufs trat, der Einwirkung von chemischen Agentien, wie Kalilauge oder Schwefelsäure, ausgesetzt. Obgleich auch in diesem Falle die Gärung unterblieb, wurde von gegnerischer Seite doch der Einwurf erhoben, dafs die zugeführte Luft durch eine derartige Behandlung vielleicht eine tiefgreifende Änderung erfahren haben könnte. Dieser Einwand wurde aber durch eine Versuchsanordnung[2]) beseitigt, bei welcher die zum Aufgufs gelangende Luft anstatt des erhitzten Rohrstücks oder der Chemikalien nur einen Baumwollpfropfen passierte. Hierdurch gewann die schon von Schwann geäufserte Vermutung, dafs es sich um organisierte, in der Luft schwebende Keime handeln könne, eine neue Stütze. Zur vollen Gewifsheit wurde diese Ansicht erst durch Pasteurs Arbeiten erhoben, mit dessen wichtiger Abhandlung über die in der Atmosphäre vorhandenen organisierten Körperchen[3]) der Leser bereits durch den I. Band bekannt geworden ist. Pasteur filtrierte die Luft durch die in Äther-Alkohol lösliche Schiefsbaumwolle; er wies auf mikroskopischem und experimentellem Wege nach, dafs diese poröse Substanz thatsächlich die Gärung verhindert, indem sie die in der Luft

---

1) Schwann in Poggendorffs Annalen. XLI. 1837. Seite 184: Vorläufige Mitteilung betreffend Versuche über die Weingärung und Fäulnis.

2) Schröder und v. Dusch, Über Filtration der Luft in Beziehung auf Fäulnis und Gärung. Journal für praktische Chemie. 1854. t. LXI. pg. 485.

3) Bd. I, Seite 347, sowie Ostwalds Klassiker Nr. 39. Louis Pasteur wurde am 27. Dezember 1822 zu Dôle im Juradepartement geboren; er starb am 28. September 1895.

schwebenden organisierten Körper zurückhält, durch deren Aussaat dann diejenigen Erscheinungen hervorgerufen werden, welche sonst die gewöhnliche Luft veranlaſst. Daſs die letztere umso weniger Keime enthält, je weiter man sich von dem Erdboden entfernt, zeigte Pasteur folgendermaſsen: Er füllte eine gröſsere Anzahl Glasballons mit einer Nährlösung, erhitzte zum Kochen und schmolz die Spitze zu. Mit diesen Ballons verfuhr er dann wie folgt: Am Fuſse des Juragebirges, in der Höhe von 850 Metern über dem Meeresspiegel und in der Höhe von 2000 Metern wurde von je 20 Ballons die Spitze abgebrochen, sodaſs Luft eintrat. Dieselben wurden dann sofort wieder zugeschmolzen. Nach Verlauf einiger Tage zeigten sich von den Ballons, welche am Fuſse des Gebirges geöffnet waren, 8 mit Organismen gefüllt, 12 unverändert.
In 850 m Höhe geöffnet, 5 mit Organismen gefüllt, 15 unverändert.
„ 2000 m „ „ 1 „ „ „ 19 „

Indem Pasteur seine Untersuchungen auf die Milchsäuregärung, die Essigbildung und die Fäulnis tierischer Substanzen ausdehnte, gelangte er unter Anwendung aller Hülfsmittel der exakten Forschung zu dem Ergebnis, daſs alle diese bis dahin so dunklen Prozesse durch bestimmte niedere Organismen hervorgerufen werden, welche die zu ihrem Leben erforderliche Energie nicht durch Atmung, sondern durch Spaltung komplizierter Kohlenstoffverbindungen beziehen. Gleichzeitig haben diese Untersuchungen Pasteurs die Frage nach der Urzeugung im verneinenden Sinne entschieden, während man bis dahin diese Art der Entstehung für die niedrigsten Organismen immer wieder durch Experimente stützen zu können geglaubt hatte.

Waren die genannten Forscher vorzugsweise auf dem Wege des Experimentes zu einer Einsicht in die Lebensvorgänge der Spalt- und Hefepilze gelangt, so führten die Vervollkommnung der optischen Hülfsmittel und die Entwicklung der mikroskopischen Technik seit dem Jahre 1840 zu einem von den hervorragendsten Erfolgen gekrönten Studium der übrigen Kryptogamen. Ungers Beobachtungen an Schwärmsporen wurden im 53. Abschnitt des I. Bandes mitgeteilt. Die Vereinigung zweier Plasmamassen der Gattung Spirogyra zu einer Dauerspore war schon länger bekannt und als sexueller Vorgang gedeutet, bei dem es jedoch an einer Differenzierung der sich verbindenden Körper fehle. Das schönste Beispiel einer solchen Differenzierung lehrte die Untersuchung der Algengattung Fucus[1]) kennen, zahlreiche analoge

[1]) Thuret, Annal. des sc. natur. 1854. II. Seite 197. Thurets Ab-

Fälle schlossen sich an, sodafs um das Jahr 1860 die Sexualität für viele Gruppen der Kryptogamen erwiesen war. Zu einem gänzlich unerwarteten und zunächst von seiten ausschliefslich Systematik treibender Botaniker heftig befehdeten Ergebnis führte das genauere Studium der Flechten. Diese erwiesen sich nämlich nicht als einheitliche Organismen, sondern als Pilze, welche auf Algen leben, indem sie letztere vollkommen in ihr Geflecht einschliefsen [1]). Da man die Flechten meist unter Bedingungen antrifft, welche dem Pilz oder der Alge allein ein Fortkommen nicht gewähren, liefs sich dieses Verhältnis nicht als Parasitismus betrachten; man belegte dasselbe daher mit dem Namen „Symbiose". Spätere Untersuchungen haben dargethan, dafs eine solche Vergesellschaftung eine im Pflanzen- und Tierreich weit verbreitete Erscheinung ist.

Während bis zum Jahre 1840 die mikroskopischen Studien vorzugsweise die fertigen Zustände der Organismen ins Auge fafsten, begann man seit jenem Zeitpunkt die Entwicklung sowohl der niederen als auch der höheren Pflanzen Zelle für Zelle zu verfolgen. Das wichtigste Resultat dieser entwicklungsgeschichtlichen Studien war die Entdeckung, dafs die höheren Kryptogamen mit den Phanerogamen in einem engen verwandtschaftlichen Zusammenhange stehen, und dafs die Koniferen, welche Jussieu an die Spitze des Pflanzenreiches gesetzt hatte, eine vermittelnde Stellung zwischen jenen beiden Hauptgruppen einnehmen [2]).

In noch höherem Mafse als bei der Erschliefsung der bisher berührten Vorgänge war man bei dem Studium der Ernährung und Bewegung auf die chemisch-physikalische Grundlage angewiesen. Nachdem Saussure und Liebig die Notwendigkeit, neben dem Wasser und dem Kohlendioxyd der Pflanze gewisse Nährstoffe zuzuführen, erkannt hatten, galt es in erster Linie die Art der Aufnahme, sowie die physiologische Bedeutung jener Stoffe nachzuweisen. So entdeckte man z. B. die wichtige Rolle, welche die Diosmose für den ersteren Vorgang spielt [3]), sowie dafs das Eisen

bildungen sind in zahlreiche Lehrbücher der Botanik übergegangen (siehe Sachs' Lehrbuch der Botanik, Leipzig 1874, Figur 185).

1) Schwendener in Nägelis Beiträgen zur wissenschaftl. Bot. Heft 2—3. 1860—68.

2) Wilhelm Hofmeister, Vergleichende Untersuchungen der Keimung, Entfaltung und Fruchtbildung höherer Kryptogamen und der Samenbildung der Coniferen. Leipzig 1851.

3) Dutrochet, Memoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des vegetaux et des animaux. 1837.

an der Bildung des Chlorophyllfarbstoffs beteiligt ist. Den Einflufs der Schwerkraft und des Lichtes auf die Wachstumsbewegungen hatte man schon im Beginn des 19. Jahrhunderts zu studieren begonnen[1]). Jetzt wandte man sich auch den Reizbewegungen zu. Bahnbrechend war in dieser Hinsicht die von dem deutschen Physiologen Brücke herrührende Untersuchung über die Bewegung der Mimosenblätter[2]), indem hier ein scheinbar willkürlicher Vorgang auf seine mechanischen Bedingungen zurückgeführt wurde. Die komplizierten mit ernährungsphysiologischen Prozessen verknüpften Reizbewegungen der insektenfressenden Pflanzen wurden dann durch Darwin aufgehellt[3]).

Der grofse Aufschwung, den die Mikroskopie seit der Herstellung achromatischer Linsensysteme erfuhr, kam in gleicher Weise der Zoologie wie der Botanik zu gute. Auch auf jenem Gebiete wurde man jetzt in den Stand gesetzt, erfolgreich in den Bau und in die Physiologie der niedersten Lebewesen einzudringen. Während Ehrenberg[4]) die Infusorien, um deren systematische Bearbeitung er sich das gröfste Verdienst erworben hatte, als hochorganisierte Wesen ansah, und andere Forscher die Foraminiferen ihrer eigentümlichen Schalenbildung wegen mit den so entwickelten Kopffüfsern vereinigten, unter denen bekanntlich der Nautilus und die fossilen Ammoniten gleichfalls aus Kammern bestehende Schalen besitzen, trat seit 1840 etwa in der Auffassung dieser Geschöpfe eine bemerkenswerte Wendung ein, die zur Aufstellung des Typus der Protozoen führte. Die Infusorien und die Foraminiferen wurden nämlich gleich einigen verwandten Gruppen als einzellige Lebewesen erkannt, deren Körper innerhalb der verschieden gestalteten Wandung nur aus einer homogenen kontraktilen Masse, der Sarkode oder dem Protoplasma, besteht.

Cuviers Kreis der Radiärtiere, dem man bisher die Infusorien zugewiesen hatte, mufste aber noch eine weitere Aufteilung über sich ergehen lassen, indem der deutsche Zoologe Leuckart die

---

[1]) Sechs pflanzenphysiologische Abhandlungen von Th. A. Knight (1803 bis 1812). Als Nr. 62 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben von H. Ambronn. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1895.

[2]) Ernst Brücke im Archiv für Anatomie und Physiologie von J. Müller. 1848. Seite 434. Neuerdings herausgegeben als II. Abhandlung des 95. Bandes von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Wilhelm Engelmann. Leipzig 1898.

[3]) Charles Darwin, Insektenfressende Pflanzen. Aus dem Englischen übersetzt von J. V. Carus. Stuttgart 1876.

[4]) Ehrenberg, Die Infusionstierchen als vollkommene Organismen. 1838.

erste und die dritte Klasse dieses Kreises, die Stachelhäuter und Pflanzentiere, trotz ihres strahligen Körperbaues als gesonderte Typen hinstellte. Für die Stachelhäuter wurde der Besitz eines Gefäfssystems und das Vorhandensein eines Darmes als charakteristisch erkannt, während man bemerkte, dafs bei den Pflanzentieren oder Cölenteraten eine so weitgehende Lokalisierung der Funktionen noch nicht stattgefunden hat, sondern ein einziger Hohlraum, der aus diesem Grunde als Gastrovaskularraum bezeichnet wurde, die Verdauung und die Cirkulation vermittelt.

Wie auf botanischem so wurde auch auf zoologischem Gebiete die Einsicht in die Verwandtschaft der niederen Formen in hohem Grade durch das Studium der Entwicklungsgeschichte gefördert. Die Befunde der letzteren wiesen z. B. den bis in die jüngste Zeit bald zu den Pflanzen gerechneten, bald als Tierstöcke betrachteten Schwämmen ihren Platz neben den Polypen und den Quallen innerhalb des Kreises der Cölenteraten an. Der Entwicklungsgeschichte gebührt aber nicht nur das Verdienst, dafs sie eine festere Begründung des natürlichen Systems der Pflanzen und der Tiere ermöglichte, sie hat den Blick auch über das Werden des Einzelwesens hinaus auf die Frage nach der Entstehung der Art, ja des gesamten so mannigfach gegliederten Systemes selbst gelenkt.

Eine Antwort auf diese Frage hatte schon Lamarck zu geben versucht, indem er mit dem Begriff von der Konstanz der Arten brach und deren allmähliche Entwicklung aus früheren Formen annahm, dergestalt, dafs alle Organismen in höherem oder geringerem Grade blutsverwandt seien. Wir haben in einem der früheren Abschnitte erfahren, weshalb sich diese als Descendenztheorie bezeichnete Lehre zunächst nicht Bahn zu brechen vermochte. Einmal fehlte es ihr anfangs an einer stichhaltigen wissenschaftlichen Begründung, zum anderen waren aber auch die einzelnen naturhistorischen Disziplinen noch nicht auf dem Standpunkte angelangt, dafs sie dieser Theorie bedurft hätten. Letzterer Fall trat aber gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts ein. Die Geologie hatte das Dogma von den wiederholten Neuschöpfungen verlassen, die Ergebnisse der Paläontologie wiesen auf eine allmähliche Annäherung der untergegangenen Formenkreise an unsere heutige Lebewelt hin; auch die morphologischen Befunde liefsen sich mit dem Dogma von der Konstanz der Arten nicht länger vereinigen. Trotzdem war die Herrschaft dieses Dogmas eine solch allgemeine. dafs sich nur vereinzelte Stimmen dagegen erhoben, welche aufserdem verhallen mufsten, solange man nichts besseres an die Stelle

der älteren Anschauungen zu setzen hatte. Die Frage nach der Entstehung der Arten blieb das „Mysterium des Mysterien" bis im Jahre 1859 der engliche Naturforscher Charles Darwin Licht über dieselbe verbreitete.

Darwin ging von der bekannten Thatsache aus, dafs der Mensch durch bewufste Zuchtwahl innerhalb historischer Zeiten aus den von ihm zur Domestikation bestimmten Tier- und Pflanzenarten Varietäten erzeugt hat, welche von der Stammart in solchem Grade abweichen, dafs man in der Unkenntnis des wahren Sachverhaltes diese Varietäten als neue Arten betrachten würde. Seine Untersuchungen richteten sich sodann auf die Frage, ob in der Natur Umstände wirken, welche in der gleichen Tendenz wie die vom Menschen ausgeübte Zuchtwahl thätig sind. Diese Frage ist durch Darwin in seinem Werke über die Entstehung der Arten[1]) bejaht worden. Da die einzelnen Individuen einer Art nicht vollkommen übereinstimmen, sondern kleine Abweichungen zeigen, welche der Züchter, sich auf das Gesetz der Erblichkeit stützend, in gewünschter Richtung zu steigern vermag, so ist auch für den natürlichen Verlauf des Naturgeschehens die Möglichkeit einer derartigen Steigerung gegeben, wenn in demselben Verhältnisse obwalten, welche die Rolle des Züchters zu übernehmen vermögen. Derartige Verhältnisse bestehen nach Darwin in der progressiven Art der Vermehrung aller Lebewesen und in dem hierdurch hervorgerufenen Kampfe um die Existenzbedingungen. Aus diesem Kampfe werden diejenigen Individuen als die Überlebenden hervorgehen, welche hinsichtlich der Anpassung an jene Bedingungen durch irgend welche Vorzüge vor ihren Mitbewerbern ausgezeichnet sind. Indem ferner die Überlebenden allein zur Fortpflanzung gelangen, übertragen sie jene Vorzüge auf ihre Nachkommen, sodafs im Lauf der Generationen ebensolche Steigerungen stattfinden werden, wie sie der Mensch durch künstliche Zuchtwahl bewirkt. Auch ist in hohem Grade wahrscheinlich, dafs unter Zuhülfenahme geologischer Zeiträume Änderungen erfolgen, welche über den Gattungscharakter hinausgehen.

Durch diese Lehre Darwins ist es in vielen Fällen möglich geworden, das, was früher als zweckmäfsige, zielbewufste Einrichtung erschien, wie die Beziehungen der Blumen und Insekten, aus natürlich wirkenden Ursachen zu erklären. Legt man die Descendenz-

[1]) Ch. Darwin, On the origin of species by means of natural selection. London 1859, übersetzt von H. G. Bronn. Stuttgart 1860.



theorie zugrunde, so erscheint ferner das System nicht mehr als eine Summe von Abstraktionen, sondern als der Ausdruck der natürlichen Verwandtschaft aller aus einem gemeinsamen Ursprung entstammenden Lebewesen. Auch auf dem Gebiete der Geologie erscheint jetzt manches Rätsel gelöst. Die fossilen Arten wurden nicht vernichtet und durch neue ersetzt, wie noch der hervorragendste zur Zeit Darwins lebende deutsche Geologe[1]) annahm, sondern sie sind als die Stammformen der jetzt die Erde bevölkernden Arten zu betrachten. Dementsprechend erkennen wir trotz zahlloser Lücken der geologischen Urkunde, wenn wir die ausgestorbenen Lebewelten von der ältesten bis zur jüngsten Formation vergleichen, eine allmähliche Vervollkommnung und eine stete Annäherung an den Charakter unserer heutigen Fauna und Flora. Fafst man ferner nur die Lebewelt einer begrenzten Region ins Auge, so findet man häufig in den jüngsten Ablagerungen, welche den Boden dieser Region zusammensetzen, Überreste von Tierformen, welche von den jetzigen Bewohnern des betreffenden Landes nur wenig verschieden sind. Dieser Umstand war es auch, der Darwin zu seinen Betrachtungen anregte und sich ihm geradezu aufdrängte, als er sich im Jahre 1837 auf einer Weltumsegelung mit dem „Beagle“[2]) der naturgeschichtlichen und geologischen Erforschung des südamerikanischen Kontinentes widmete, in dessen diluvialen und tertiären Bildungen zahlreiche Überreste riesiger Gürtel- und Faultiere vorkommen, also von Typen, welche noch heute der Fauna jenes Landes ihr charakteristisches Gepräge verleihen.

Trotz der grofsen Bedeutung, welche die von Darwin aufgedeckten Beziehungen für das Eindringen in den Zusammenhang biologischer Erscheinungsreihen besitzen, ist die Theorie noch weit davon entfernt, uns eine ursächliche Erklärung der Lebewelt zu geben. Es bleibt eine offene Frage, ob allein durch nützliche Anpassung aus dem mikroskopisch kleinen Protoplasmaklümpchen das aus Millionen wunderbar gefügter Zellen aufgebaute Wirbeltier oder gar der Mensch, welcher dichtet und denkt und sich die Naturkräfte zu Dienerinnen macht, hervorgehen konnte. Versetzen wir uns ferner zu den Anfängen des Lebens zurück, die Erde empfängt oder erzeugt die ersten einfachsten Organismen, alle entwickelteren Wesen fehlen noch. Wie konnte bei dieser Ein-

1) Bronn.
2) Siehe Bd. I, Seite 310.

förmigkeit das Spiel der natürlichen Auslese, das wir heute bei der ungeheuren Kompliziertheit der organischen Welt vor uns sehen, beginnen? Man darf ferner nicht vergessen, dafs wir der Frage nach der ersten Entstehung organisierter Materie, sowie der Natur ihrer wunderbaren Eigenschaften auch heute noch ratlos gegenüberstehen. Die Biologie hat also nicht etwa ihre Aufgabe schon im wesentlichen gelöst, sondern dieselbe neuerdings erst voll erkannt. Sie hält fest an der Lehre von der allmählichen Entwicklung der Lebewelt und sucht die Entstehung des Einzelwesens und der Art, sowie das Wesen der organisierten Substanz aus chemischen und physikalischen Kräften zu erklären, unbekümmert darum, ob dieses Ziel erreicht werden oder stets ein ideelles bleiben wird. Dementsprechend beschränkt sich auch die neuere Physiologie nicht auf das Studium des menschlichen Körpers, sondern dehnt ihre Untersuchungen zum Zwecke des Vergleichs auf sämtliche, insbesondere auf die niederen Tiergruppen aus, innerhalb deren sich die Lebenserscheinungen in ihrem einfachsten Verlaufe abspielen. Hier wird sich ein Begreifen aus mechanischen Prinzipien am ehesten verwirklichen lassen, während ein solches der höheren Stufe gegenüber zunächst als blofses Ideal betrachtet werden kann. Wie die Physiologie, so beginnt neuerdings unter dem wachsenden Einflufs der chemisch-physikalischen Forschung auch die Lehre von der Ontogenie der Tiere und Pflanzen ihren Charakter zu ändern, indem sie sich aus einer deskriptiven Wissenschaft zur Entwicklungsmechanik[1]) umbildet.

In noch höherem Grade als die bisher betrachteten Wissenschaften sind die Geologie und die Mineralogie heute als angewandte Physik und Chemie zu betrachten. Das geologische Experiment, als das wichtigste Mittel, um zu einem Aufschlufs über die Natur und die Entstehung der Gesteine zu gelangen, wurde schon während einer älteren Epoche von dem Engländer James Hall (1761—1832) begründet. Dieser lieferte z. B. den Nachweis, dafs geschmolzene Gesteinsmassen glasartig oder krystallinisch erstarren, je nachdem sie rasch oder langsam abgekühlt werden. Als Hall Kreide in einem abgeschlossenen Raume erhitzte, sodafs die Kohlensäure nicht entweichen konnte, erhielt er ein krystallinisches, dem Marmor ähnliches Erstarrungsprodukt. Durch derartige Versuche ist es in neuerer Zeit insbesondere einer französischen Geologenschule[2])

1) Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen. Herausgegeben von W. Roux. seit 1894.

2) deren Hauptvertreter G. A. Daubrée ist.

gelungen, uns einen Einblick in die Werkstatt der Natur zu eröffnen. So erkannte man vor allem die grofse Rolle, welche der überhitzte und mit Mineralsubstanzen beladene Wasserdampf der Laven bei der Gesteinsbildung und Gesteinsumwandlung spielt. Seit dem Jahre 1860 hat sich ferner mit Zuhülfenahme des Mikroskops die innere Struktur der Gesteine erschliefsen und dadurch manche Frage über das Wirken der gesteinsbildenden Prozesse beantworten lassen. Einige Jahrzehnte früher hatte Ehrenberg durch seine mikroskopischen Untersuchungen die Thätigkeit der kleinsten Lebewesen als ein wichtiges geologisches Agens erkannt. Ausgehend von der Beobachtung, dafs das Franzensbader Bergmehl aus den Kieselskeletten untergegangener Diatomeen besteht, fand Ehrenberg, dafs die Kiesel- und Kalkabscheidungen kleinster pflanzlicher und tierischer Organismen in ungeahnter Ausdehnung an der Zusammensetzung sedimentärer Bildungen teilnehmen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen fafste er in seiner „Mikrogeologie“[1]) zusammen, deren prächtig ausgeführte Tafeln ein klares Bild von dem „Erden und Felsen schaffenden Wirken des kleinsten Lebens“ geben.

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts nahm in Deutschland[2]) die Geologie einen solch überwiegend chemisch-physikalischen Charakter an, dafs sie Gefahr lief, in einseitiger Übertreibung dem architektonischen Aufbau der Erdkruste nicht mehr die gebührende Beachtung zu schenken. Erst in neuester Zeit gelang es insbesondere den Bemühungen des amerikanischen Geologen Dana, sowie des Alpenforschers Süfs, diese Architektonik als das Ergebnis eines durch die Kontraktion des Erdinnern hervorgerufenen Stauungs- und Faltungsprozesses zu erklären, welcher ununterbrochen vor sich geht und nicht nur die säkulären Schwankungen grofser Teile der Erdrinde, sondern auch die Entstehung der Gebirge, sowie diejenige Klasse von Erdbeben hervorruft, welche man als tektonische bezeichnet.

Auch in dem Transport der Eismassen lernte die neueste Zeit ein wichtiges geologisches Agens kennen. Schon im Jahre 1827 hatte ein deutscher Forscher[3]) nachgewiesen, dafs die erratischen Blöcke des norddeutschen Tieflandes skandinavischen Ursprungs seien. Ein Jahrzehnt später wurden ähnliche Bildungen der Alpen

---

1) Im Jahre 1854 erschienen.

2) Durch G. Bischof und seine Schule.

3) Hausmann.

auf die Bewegung von Gletschern zurückgeführt[1]). So gelangte man zur Annahme von Kälteperioden, in denen die Vergletscherung der mittel- und nordeuropäischen Landschaft das heutige Mafs weit überschritten haben mufs. Nachdem man dann die Eisbedeckung Grönlands kennen gelernt, machte der schwedische Geologe Torell auf die zahlreichen Spuren einer analogen Inlandvereisung des nördlichen Deutschlands aufmerksam und beseitigte dadurch die Annahme Lyells, nach welcher Eisberge jenen Transport skandinavischer Felsmassen bis zum Rande des deutschen Mittelgebirges bewerkstelligt haben sollten.

Nicht solch umgestaltende Änderungen wie die Geologie hat die Mineralogie in der neueren Zeit erfahren, da letztere Wissenschaft schon im Verlauf der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ganz auf die exakte Grundlage gestellt wurde, sodafs schon Berzelius sie als die Chemie der natürlich vorkommenden Verbindungen definieren konnte. Neben einem Ausbau im einzelnen, der den Inhalt der Mineralogie vervielfältigte, blieb der neuesten Zeit vor allem die Entdeckung einiger wichtigen Beziehungen zwischen den physikalischen und den morphologischen Eigenschaften, sowie die tiefere Begründung der letzteren vorbehalten. Zur Erkenntnis des Zusammenhanges zwischen der Form und dem optischen Verhalten der Krystalle war man schon während der ersten Dezennien des 19. Jahrhunderts durch die Arbeiten eines Fresnel und Brewster gelangt. Ganz analoge Beziehungen wurden nun hinsichtlich des thermischen und des elektrischen Verhaltens entdeckt. Auch hier ergab sich, dafs die regulären Substanzen nach allen Richtungen des Raumes das gleiche Verhalten besitzen, während die Krystalle des tetragonalen und des hexagonalen Systems Verschiedenheiten nach zwei, diejenigen der übrigen Systeme nach drei Richtungen aufweisen; und zwar gilt dies sowohl hinsichtlich des Ausdehnungskoeffizienten wie der Wärmeleitung. Erhitzt man z. B. eine Kugel von regulärem Steinsalz, so wird sie ihr Volumen vergröfsern, ohne ihre Form zu ändern, während eine aus dem hexagonalen Kalkspat hergestellte Kugel zu einem Rotationsellipsoid, und endlich derselbe aus dem monoklinen Feldspat hergestellte Körper zu einem dreiachsigen Ellipsoid wird.

Für die schon von Aepinus studierte Pyroëlektricität[2]) hat sich neuerdings gleichfalls eine merkwürdige Beziehung ergeben,

---

1) Charpentier 1837.
2) Siehe Bd. I, Seite 157.

indem es sich herausstellte, dafs die pyroëlektrischen Krystalle hemimorph, d. h. an den entgegengesetzten Enden der Hauptachse, welche zu elektrischen Polen werden, durch Flächen verschiedener Formen begrenzt sind.

Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Gestalt der Mineralien hatte schon Mitscherlich, der Entdecker der Isomorphie, gefunden. Aus der näheren Untersuchung der isomorphen Substanzen ging darauf hervor, dafs es sich, vom regulären Systeme abgesehen, nicht um eine vollkommene Identität der Formen, sondern nur um eine sehr grofse Ähnlichkeit derselben handelt. Als entscheidendes Merkmal für die Isomorphie erkannte man ferner das Vermögen der betreffenden Substanzen sogenannte isomorphe Mischungen einzugehen, d. h. in homogenen Krystallen zusammen zu krystallisieren.

Die Frage nach der Entstehung der Mineralien mufste wie die Frage nach der Bildung der Gesteine gleichfalls auf dem Wege des Experimentes gelöst werden, was zur Entdeckung zahlreicher künstlicher Nachbildungen führte [1]. Auch hier hat man der hauptsächlich durch Daubrée vertretenen Gruppe französischer Forscher die hervorragendsten Erfolge zu verdanken.

## 8. Wichtige Errungenschaften der chemisch-physikalischen Forschung seit der Entdeckung des Energieprinzips.

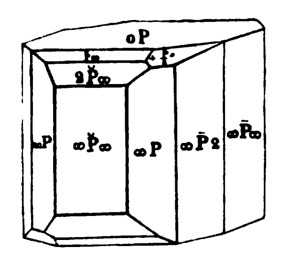
Die exakten Wissenschaften waren durch eine gewaltige Summe experimenteller und darauf gegründeter theoretischer Arbeit im Verlaufe der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einem wohlgegliederten und wenigstens in seinen Fundamenten festgefügten Lehrgebäude gelangt. Der Ausbau im einzelnen wurde dann während der letzten Decennien in solchem Mafse gefördert, dafs an dieser Stelle nur einige der wichtigsten neueren Errungenschaften, welche die Keime weiteren Fortschritts in sich bergen, berührt werden können.

In der Chemie erhob sich insbesondere auf Grund derjenigen Vorstellungen, welche sich seit Gay-Lussac und Avogadro über die Natur der gasförmigen Verbindungen entwickelt hatten, die heute herrschende Valenztheorie, nach welcher den Atomen

[1]) C. W. C. Fuchs, Die künstlich dargestellten Mineralien. Gekrönte Preisschrift. Haarlem 1872.



jedes Elementes eine oder mehrere zahlenmäſsig bestimmte Sättigungsstufen zukommen. So wurden die Elemente Stickstoff, Phosphor und Arsen als drei- und fünfwertig aufgefaſst, da sich ein Atom derselben je nach den Umständen mit drei oder fünf Atomen des als einwertig bezeichneten Chlors verbindet. Von besonderer Wichtigkeit für die weitere Entwicklung der organischen Chemie war die Lehre Kekulés von der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs und der Atomverkettung, nach welcher die Kohlenstoffatome durch eine bestimmte Anzahl ihrer vier Valenzen sich gegenseitig binden[1]). Im Jahre 1865 dehnte Kekulé die von ihm geschaffene Strukturtheorie, der er selbst ursprünglich nur den Wert einer Zweckmäſsigkeitshypothese beilegte, auf die aromatischen Verbindungen



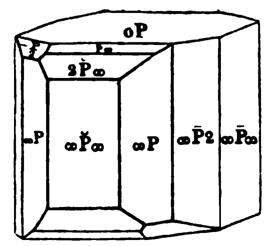




Fig. 73. Krystalle des rechts-weinsauren und des links-weinsauren Natrium-Ammoniums. Ersteres zeigt die rechts-hemiedrische Fläche $+\frac{P}{2}$, letzteres die links-hemiedrische, ein Spiegelbild von $+\frac{P}{2}$ darstellende Fläche $-\frac{P}{2}$.

aus, für deren Grundsubstanz, das Benzol, er eine ringförmige Verkettung von sechs Kohlenstoffatomen annahm. Durch diese so berühmt gewordene Benzoltheorie[2]) wurde nicht nur eine klare Übersicht über das stetig anschwellende Gebiet der aus dem Teer gewonnenen Substanzen, sondern auch eine Erklärung und Vorhersage der hier vorkommenden Isomeriefälle ermöglicht.

Das Studium der Isomerien war es auch, welches die Strukturchemie eine Vorstellung über die Anordnung der Atome im Raume gewinnen lieſs. Pasteur hatte nachgewiesen, daſs die Traubensäure, die sich dem polarisierten Lichte gegenüber inaktiv verhält, in zwei Modifikationen zerlegt werden kann, welche die Polarisationsebene des Lichtes im entgegengesetzten Sinne drehen[3]). Pasteur fand, daſs die Salze dieser links- und rechtsdrehenden

[1]) Liebigs Annalen der Chemie 106,$_{154}$.
[2]) Liebigs Annalen der Chemie, 137,$_{129}$ ff.
[3]) Comptes rendus des séances de l'académie des sciences, 29,$_{297}$; 31,$_{480}$.

Säuren zwar isomorph sind, aber Krystalle liefern, welche sich hinsichtlich der Lage gewisser Flächen wie Spiegelbild und Gegenstand verhalten, also nicht zur Deckung gebracht werden können. Durch die sorgfältige Trennung dieser rechts- und links-hemiedrischen Krystalle (siehe Fig. 73) war Pasteur zur Entdeckung der zusammengesetzten Natur der Traubensäure geführt worden. Die einen drehten nämlich gleichfalls die Polarisationsebene rechts, die anderen dagegen links, während ihre Vereinigung zu einer Lösung wieder die optisch inaktive Substanz ergab. Da die beiden Modifikationen eine identische Struktur aufwiesen, so stand man vor einem Rätsel, welches erst im Jahre 1875 durch den holländischen Chemiker van'tHoff[1]) gelöst wurde. Denkt man sich mit van 'tHoff die vier Affinitäten des Kohlenstoffatoms nach den Ecken eines Tetraeders geordnet, so ergeben sich für den Fall, dafs sämtliche Affinitäten durch vier verschiedene Atome oder Atomgruppen gesättigt sind, zwei von einander abweichende Kombinationen, welche nicht zur Deckung gebracht werden können (siehe Fig. 74), sondern sich, gleich jenen Krystallen der links- und rechtsdrehenden Weinsäure, wie Bild und Spiegelbild verhalten. Letztere Verbindungen wurden jetzt als stereoisomer bezeichnet und van'tHoffs Betrachtungsweise auf zahlreiche analoge Fälle ausgedehnt.

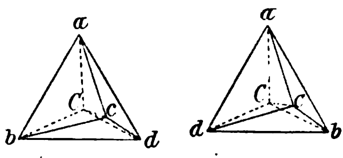


Fig. 74. Die Konstitution der stereoisomeren Verbindungen.

Während es sich in dem durch van'tHoff[2]) erschlossenen Gebiete um eine Ausdehnung der geometrischen Betrachtungsweise auf die Verkettung der Atome handelte, führten die mit immer gröfserer Schärfe ausgeführten Bestimmungen der Atomgewichte zu Versuchen, zwischen den erhaltenen Zahlen arithmetische Beziehungen zu finden. Wenn wir von der verfehlten Hypothese Prouts absehen, so begegnet uns der erste Versuch dieser Art im Jahre 1829 bei dem Deutschen Döbereiner. Letzterer wies darauf hin, dafs das Atomgewicht des Broms das arithmetische Mittel der Atomgewichte von Chlor und Jod sei[3]), und suchte auch die übrigen

[1]) Bulletin de la société chimique de Paris $23_{,395}$. Vergl. auch van'tHoffs Abhandlung: Dix années dans l'histoire d'une theorie. 1887.

[2]) Und gleichzeitig durch Lebel. Bulletin de la société chimique $23_{,337}$.

[3]) J. W. Döbereiner, Versuch zu einer Gruppierung der elementaren Stoffe nach ihrer Analogie. Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie. 1829, 15, Seite 301. Siehe auch Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 66. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1895.

Elemente zu solchen Gruppen, die er als Triaden bezeichnete, zusammenzufassen. Lothar Meyer und Mendelejeff entdeckten dann, dafs eine viel allgemeinere Gesetzmäfsigkeit hervortritt, wenn man sämtliche Elemente nach wachsendem Atomgewicht anordnet. Es kehren dann nämlich ähnliche, zu einer natürlichen Gruppe gehörende Grundstoffe in gleichen Abständen wieder, eine Erkenntnis, welche beide Forscher dahin formulierten, dafs die Eigenschaften der Elemente und folglich auch der aus ihnen gebildeten Substanzen periodische Funktionen der Atomgewichte sind[1]. Damit war ein natürliches System gewonnen, dessen weiterer Ausbau eine der wichtigsten Aufgaben der modernen Chemie ist. Mendelejeff mufste in seinem System für bis dahin unentdeckte Glieder Lücken lassen, sagte aber die Eigenschaften dieser Glieder aus der ihnen zugeschriebenen Stellung bis ins Einzelne voraus. Als er seine Tabelle aufstellte, fehlten zwei Elemente zwischen Zink (Atomgewicht = 65) und Arsen (Atomgewicht = 75). Diese Lücke wurde dadurch ausgefüllt, dafs man im Jahre 1875 das Gallium[2] und zehn Jahre später das Germanium[3] mit allen von Mendelejeff vorausgesagten Eigenschaften entdeckte. Nachstehende Tabelle läfst erkennen, bis zu welchem Grade die Prognose des russischen Forschers sich bezüglich des Germaniums als zutreffend erwiesen hat.

| Voraussagungen | Befunde |
|---|---|
| Atomgewicht 72 . . . . . . . . | 72,3 |
| Spezif. Gewicht 5,5 . . . . . . . | 5,47 |
| Oxyd $MO_2$ . . . . . . . . . . . | $GeO_2$ |
| Spezif. Gewicht desselben 4,7 . . . | 4,703 |
| Chlorid $MCl_4$ . . . . . . . . . . | $GeCl_4$ |
| Siedepunkt desselben unter 100° . | 86° |
| Fluorid $MF_4$ . . . . . . . . . . | $GeF_4$ |
| Äthylverbindung $M(C_2H_5)_4$ . . . . | $Ge(C_2H_5)_4$ |
| Siedepunkt desselben 160° . . . . | 160° |

In einigen Fällen sah sich Mendelejeff veranlafst, kleine Änderungen in der Reihenfolge der Elemente im Gegensatz zu den

[1] Siehe Mendelejeffs berühmte Abhandlung über „Die periodische Gesetzmäfsigkeit der chemischen Elemente." Annal. d. Chem. u. Pharm. 1871. VIII, Seite 133. Dieselbe wurde mit Erläuterungen herausgegeben von Karl Seubert (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 68. Leipzig, 1895).

[2] Dasselbe findet sich als Begleiter des Zinks in der Blende und wurde 1875 von Lecoq de Boisbaudran entdeckt.

[3] Durch Cl. Winkler 1886 in einem Freiberger Silbererz (Argyrodit) entdeckt.

damals als gültig anerkannten Atomgewichtsbestimmungen vorzunehmen. Spätere Nachprüfungen führten dann zu einer zweiten glänzenden Bestätigung des periodischen Gesetzes, in dem sich die von Mendelejeff vorgenommenen Umstellungen als den wahren Werten entsprechend erwiesen.

Welches ist nun die Ursache dieses merkwürdigen Gesetzes? Dafs die Grundstoffe ihren Namen mit Recht tragen, wird sehr zweifelhaft. Es ist nicht jedes eine Welt für sich, wie man wohl glaubte, sondern sie bilden ein gesetzmäfsig verknüpftes Ganze. Welch grofsartiges Problem bietet sich hier dem rastlos forschenden Geiste dar! Darf man doch hoffen, dafs sich der Erkenntnis von der Einheit der Kraft die Zurückführung der bunten Schar der Elemente auf einen einzigen Urstoff hinzugesellen wird.

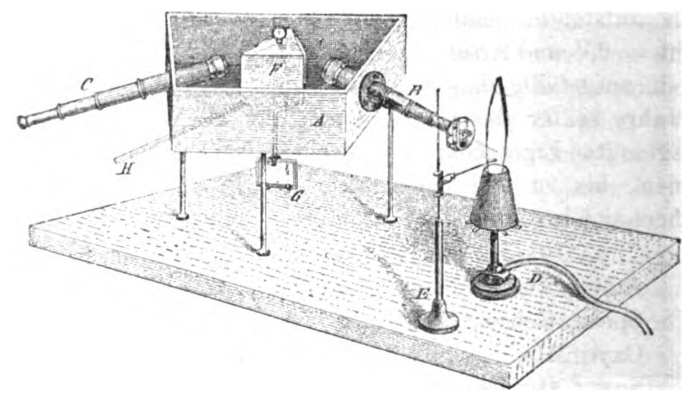



Fig. 75. Das erste von Kirchhoff und Bunsen konstruierte Spektroskop[1]).

Dem Grenzgebiete zwischen der Chemie und der Physik gehört die aus den Forschungen eines Fraunhofer[2]), Brewster, Bunsen und Kirchhoff hervorgegangene Spektralanalyse an. Als die eigentlichen Schöpfer derselben sind die beiden zuletzt genannten Männer zu betrachten, mit deren Forschungen der Leser bereits durch den 61. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist.

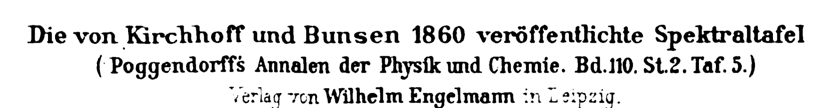
Der Gedanke, die von Fraunhofer mit solch glücklichem Erfolge getriebenen Spektraluntersuchungen für die chemische Analyse zu verwerten, ging von Gustav Kirchhoff aus. Dieser

[1]) G. Kirchhoff und R. Bunsen, Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen. I. Abhandlung, Fig. 1 (Ostwalds Klassiker Nr. 72, Seite 5).

[2]) Siehe Seite 341 ds. Bds.



Dannemann, Grundriss. II.



**Die von Kirchhoff und Bunsen 1860 veröffentlichte Spektraltafel**

(Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Bd. 110. St. 2. Taf. 5.)

Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig.

Lith. Anst. v. E. A. Funke Leipzig.

machte als junger Physikprofessor seinem Kollegen Bunsen, welcher die Flammenfärbungen verschiedener Salze zur Erkennung der Metalle benutzte, den Vorschlag, anstatt die Flammen durch farbige Gläser und Lösungen zu betrachten und so bestimmte von der Natur der Metalle abhängige Erscheinungen auszumitteln, lieber ein Prisma anzuwenden. Beide Männer vereinigten sich zur Ausführung dieses Gedankens. Zunächst schufen sie einen für ihre Zwecke geeigneten Apparat, das Spektroskop, welches Figur 75 in seiner ursprünglichen, ihm von den Erfindern verliehenen Form darstellt. In der nicht leuchtenden Flamme des von Bunsen erfundenen Brenners D wurde die zu untersuchende Substanz an einem Platindraht geschmolzen. Das so erzeugte Licht fiel durch den Spalt des Rohres B, wurde durch das Schwefelkohlenstoffprisma F zerlegt und gelangte durch das Fernrohr C ins Auge. Nachdem Bunsen und Kirchhoff durch Benutzung der verschiedensten Flammen, wie derjenigen von Schwefel, Alkohol, Leuchtgas, Wasserstoff etc., den Nachweis erbracht hatten, dafs die charakteristischen, den einzelnen Metallen entsprechenden Spektrallinien von den Temperaturunterschieden, sowie den in den Flammen vor sich gehenden Prozessen unabhängig sind, wandten sie sich der genaueren Feststellung der einzelnen Metallspektren zu, welche die nachstehende Tafel nach der von beiden Forschern herrührenden Originaldarstellung wiedergiebt.

Von besonderem Interesse erwies sich das Natriumspektrum, dessen gelbe Linie $\alpha$ mit der D-Linie des Sonnenspektrums zusammenfällt. Fraunhofer hatte dieselbe gelbe Linie in dem Spektrum des Lampenlichtes, sowie auch jene merkwürdige Koincidenz wahrgenommen, ohne sich den Ursprung dieser Erscheinungen erklären zu können. Bunsen und Kirchhoff thaten dies, indem sie auf die Allverbreitung der Verbindungen des Natriums und die aufserordentliche Empfindlichkeit der Spektralreaktion desselben hinwiesen. So genügte das Abklopfen eines bestäubten Buches, um in einer Entfernung von mehreren Schritten das Aufblitzen der gelben Linie zu bewirken. Als beide Forscher 3 Milligramm chlorsaures Natrium mit Milchzucker in einem 60 Kubikmeter grofsen Raum verpufften und in diesem Raume dann die Flamme eines Bunsenbrenners spektroskopisch untersuchten, zeigte es sich, dafs schon der dreimillionste Teil eines Milligramm Natriumsalz die Reaktion desselben mit der gröfsten Deutlichkeit erkennen läfst. Um die Koincidenz der Natriumlinie mit der D-Linie zu erklären, liefs Kirchhoff Drummond'sches Kalklicht, welches

keine dunklen Linien enthält, sondern ein kontinuierliches Spektrum liefert, zunächst durch eine Natriumflamme und darauf durch das Prisma fallen. Jetzt befand sich an der Stelle der gelben Linie eine dunkle; es war hiermit das erreicht, was in der Folge als eine Umkehrung des Flammenspektrums bezeichnet wurde. Die Erklärung für diese Erscheinung lieferte das bald darauf von Kirchhoff aufgefundene Absorptionsgesetz[1]), nach welchem eine Substanz diejenigen Strahlen vorzugsweise absorbiert, welche sie, in den glühenden Zustand versetzt, selbst aussendet. Hiermit waren gleichzeitig auch die Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums erklärt. Sie deuteten offenbar auf Dämpfe hin, welche den glühenden Centralkörper umgeben und das von ihm ausgehende Licht der Absorption unterwerfen, sodafs Kirchhoff aus der Wirkung der letzteren auf Grund der von ihm und Bunsen an den Metallspektren und deren Umkehrungen gewonnenen Ergebnisse auf die Natur der absorbierten Dämpfe und damit auf die materielle Beschaffenheit der Sonne, sowie der fernen Weltkörper überhaupt schliefsen konnte. Der Astronomie wurde durch diese That eine ungeahnte Perspektive eröffnet, da dem Ausspruch Humboldts[2]), dafs die Weltkörper für unsere Erkenntnis nur gravitierende Materie ohne elementare Verschiedenheit der Stoffe seien, jetzt die Berechtigung entzogen war. Kirchhoff selbst lieferte eine sehr genaue Studie über das Sonnenspektrum[3]), in welchem er die Lage von mehr als 2000 Linien nach einer von ihm gewählten Skala bestimmte. Dabei ergab sich, dafs eine grofse Anzahl ausgezeichneter Fraunhoferscher Linien mit den Eisenlinien zusammenfallen, sodafs schon durch diese ersten Untersuchungen die Anwesenheit von Natrium und Eisen in dem Sonnenkörper zur Evidenz erwiesen war. Seitdem hat die neue von den Heidelberger Forschern geschaffene Methode die Anwesenheit von mehr als 30 Elementen in der Sonne mit Sicherheit erkennen lassen und nicht nur über die Zusammensetzung, sondern auch über die Bewegungsrichtung der Fixsterne Auskunft gegeben. Wir sind daher aus den Ergebnissen der Spektralanalyse in weit höherem Mafse als aus der Analyse der Meteoriten zu dem Schlusse berechtigt, dafs das übrige Weltall, soweit es sich den Sinnen offenbart, denselben elementaren Aufbau wie die irdischen Stoffe besitzt.

---

[1]) Poggendorffs Annalen, 109,275.
[2]) Humboldts Kosmos IV, 7.
[3]) Siehe Bd. I, Seite 356.

In nicht geringerem Grade hat sich die Fruchtbarkeit der neuen Methode in der Chemie selbst offenbart. Hier wurde sie nicht nur zu dem wichtigsten analytischen Hülfsmittel, sondern führte schon in den Händen ihrer Erfinder zur Entdeckung neuer Elemente[1]) und drang befruchtend in alle Zweige der angewandten Naturwissenschaften ein. So erblicken wir heute das Spektroskop in den Händen des Arztes, wenn es eine Kohlenoxydvergiftung nachzuweisen gilt, oder des Hüttenmannes, der aus dem Verschwinden gewisser Linien die Beendigung des Bessemerprozesses abliest.

Eine mächtige Bundesgenossin erwuchs der Spektralanalyse in der Photographie, deren bescheidene Anfänge wir schon im I. Bande, sowie in früheren Abschnitten des II. Bandes kennen gelernt haben. Seitdem die bequeme Trockenplatte erfunden ist und das so empfindliche Bromsilber für die Aufnahme des Lichteindrucks nur den Bruchteil einer Sekunde beansprucht, dringt das photographische Verfahren als die zuverlässigste und mit keinen subjektiven Mängeln behaftete Beobachtungsmethode in alle Zweige der Wissenschaft und Technik ein. Es liegt in der Natur der Sache, dafs die Astronomie, welche es fast nur mit Lichterscheinungen zu thun hat, in erster Linie und in solchem Mafse aus dem photographischen Verfahren Nutzen zog, dafs wir uns den in der neuesten Zeit emporgeblühten physikalischen Teil jener Wissenschaft ohne letzteres kaum denken können. Welch mühevolle Arbeit mufste z. B. Kirchhoff leisten, um das Sonnenspektrum so zu zeichnen, dafs jede der vielen hundert Linien in der ihr zukommenden Lage und Stärke hervortrat. Dasselbe erreichte bald darauf Rutherford in kürzester Zeit und mit vollkommen objektiver Treue, als er zum erstenmale das Sonnenspektrum photographierte.

Eine weitere Bereicherung, welche indes einen mehr theoretischen Wert besitzt, erfuhr die Optik durch die terrestrische Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes. Diese Bestimmung gelang den französischen Physikern Fizeau und Foucault und lieferte Ergebnisse, welche mit den früher auf astronomischem Wege erhaltenen Resultaten hinreichend übereinstimmen.

Fizeau[2]) wandte eine Scheibe an, die nach Art der Zahn-

---

[1]) Es waren dies Rubidium und Caesium; siehe Poggendorffs Annalen, Bd. 113, Seite 337, 1861 oder Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 72, Seite 28 ff.

[2]) Fizeau, La vitesse de propagation de la lumière in Compt. rend. XXIX,



räder am Umfange gleichgrofse volle und ausgeschnittene Sektoren besafs (siehe Figur 76). Wird nun ein Lichtstrahl, nachdem er durch eine der Lücken gegangen, vermittelst eines Spiegels in der Weise reflektiert, dafs er nach demselben Punkte zurückkehrt, so wird er, wenn die Scheibe rotiert, entweder durch die Lücken durchgelassen oder von den Zähnen aufgefangen werden, je nach der Geschwindigkeit der Scheibe und dem Abstande des reflektierenden Spiegels. Fizeau stellte das Fernrohr F, welches mit der rotierenden Scheibe R, dem durchsichtigen spiegelnden Glas-

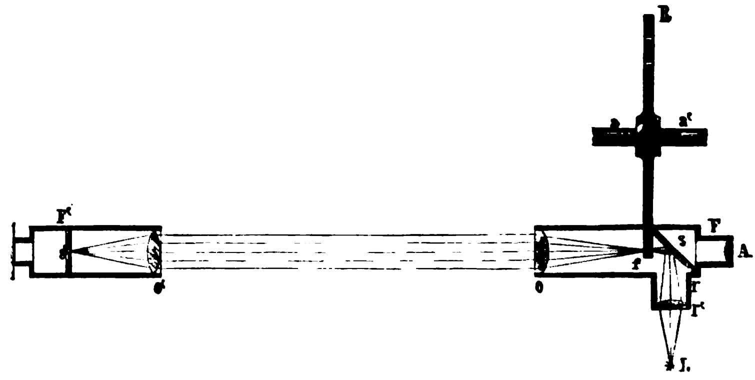


Fig. 76. Fizeaus Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes.

stücks und der Lichtquelle L verbunden war, an einem bestimmten Orte auf und brachte den reflektierenden Spiegel s' in den Brennpunkt des mit F gleichgerichteten Fernrohrs F', das sich an einem 8633 Meter entfernten Orte befand. Als die Scheibe 12,6 Umdrehungen in der Sekunde machte, trat die erste Verfinsterung für das durch A blickende Auge auf, ein Beweis, dafs an die Stelle der Lücke ein Zahn getreten war, während das Licht den Weg von 17266 Metern (2 . 8633) durchlaufen hatte. Bei verdoppelter Geschwindigkeit des Randumfanges erglänzte der Punkt aufs neue, da der zurückkehrende Strahl jetzt die nächstfolgende Lücke traf. Bei dreifacher Geschwindigkeit entstand wieder eine Verfinsterung, bei vierfacher erglänzte der Punkt abermals und so fort. Aus der Zeit, welche der Zahn gebraucht, um an die Stelle der Lücke zu treten und der Strecke von 17266 Metern, welche der Strahl in eben dieser Zeit zurücklegt, berechnete Fizeau die Fort-

90. 1849, sowie in Poggendorffs Annalen XIX, Seite 167. 1850. Hippolyte Fizeau, geboren in Paris am 23. September 1819, gestorben am 18. Sept. 1896.

pflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu 42219 geographischen Meilen, ein Wert, der nur um 0,5 % von demjenigen abweicht, der sich aus der Verfinsterung der Jupitertrabanten unter Zugrundelegung der Enckeschen Sonnenparallaxe ergiebt.

Von hervorragendem Interesse war die zweite von Foucault eingeschlagene Methode, da sie endgültig gegen die Emissionstheorie zu Gunsten der Undulationshypothese entschied. Nach der ersteren wird nämlich die Brechung des Lichtes durch eine Beschleunigung veranlafst, welche dasselbe bei seinem Eintritt in das dichtere Medium erfährt, während nach der Undulationstheorie in diesem Falle eine Verringerung der Lichtgeschwindigkeit eintritt. Arago hatte schon 1838 darauf hingewiesen, dafs die eine von den beiden Theorien unterlegen sei, sobald es gelänge, den direkten experimentellen Nachweis zu führen, in welchem Sinne die Geschwindigkeit des Lichtes bei seinem Eintritt aus dem dünneren in das dichtere Medium sich ändert. Die Bewältigung dieses Problems von solch ausschlaggebender Bedeutung gelang Foucault im Jahre 1854[1]). Er bediente sich dazu des rasch rotierenden Spiegels, welchen Wheatstone[2]) schon im Jahre 1834 zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektricität benutzt hatte. Wheatstones Methode beruht darauf, dafs zwei rasch aufeinander folgende, für das gewöhnliche Sehen gleichzeitige Ereignisse, wie das Überspringen des elektrischen Funkens an verschiedenen Unterbrechungsstellen ein- und desselben Stromkreises, in ihrem zeitlichen Nacheinander an der gegenseitigen Verschiebung erkannt werden, welche die entsprechenden, durch einen rasch rotierenden Spiegel erzeugten Bilder erleiden. In ähnlicher Weise, wie es Fizeau gethan, liefs Foucault den Lichtstrahl eine gewisse Strecke zurücklegen und durch Reflexion wieder nach seinem Ausgangspunkte gelangen, wo er den rotierenden Spiegel traf. Hatte letzterer innerhalb der verflossenen Zeit schon einen deutlich wahrnehmbaren aus der Verschiebung des Spiegelbildes zu entnehmenden Winkel beschrieben, so ergab sich aus dem entsprechenden Zeitintervall, sowie aus der vom Licht durchlaufenen Strecke die Geschwindigkeit des letzteren. Der so gefundene Wert war etwas geringer als der von Fizeau ermittelte; er betrug nämlich 40160 Meilen. Indem dann Foucault die vom Lichte zu durchlaufende Strecke so klein wählte, dafs er eine mit Wasser gefüllte Röhre in dieselbe einschalten

---

1) Annales de Chimie et de Physique. 1854. XLI, 163.

2) Philos. Transact. f. the year 1834, sowie Poggendorffs Annalen, Bd. XXXIV.

konnte, ergab sich die Thatsache, dafs das Licht sich in dem dichteren Medium langsamer bewegt als in der Luft. Foucault konnte daher seine Abhandlung mit der Erklärung schliefsen, dafs die Emissionstheorie mit den Thatsachen im Widerspruche stehe. Damit war ein durch 1½ Jahrhunderte währender Streit zu dem seit Fresnels Erfolgen allerdings nicht mehr zweifelhaften Ausgange geführt.

## 9. Aufgaben und Ziele.

Die grofsen Errungenschaften, deren Zustandekommen der Gegenstand der bisherigen Darstellung gewesen ist, bestimmen nach Inhalt wie nach Richtung auch die Forschung unserer Tage, sodafs es, um weitere Erfolge zu zeitigen, durchaus nicht immer der Auffindung neuer Wege und Methoden bedarf. Vielmehr versprechen die zahlreichen Ansätze, welche der heutigen Generation neben einem festgefügten Lehrgebäude übermittelt sind, eine stete Fortentwicklung der Naturwissenschaften. Hierzu wirkt sowohl die Verfeinerung der Hülfsmittel, welche immer schärfere Messungen erlauben, als auch der Umstand, dafs die Experimentierkunst durch ihre Verbindung mit der Ingenieurmechanik einen Zug ins Grofsartige nimmt, den die ältere Generation mit ihren bescheidenen Mitteln nicht kannte.

Als ein Beispiel für die an erster Stelle erwähnte Genauigkeit der Messungen kann aus der Geschichte unserer Tage die Entdeckung des Argons genannt werden, jenes von Rayleigh und Ramsay 1894 aufgefundenen Bestandteiles der Luft, den Cavendish, wie sich nachher herausgestellt, schon hundert Jahr früher isoliert hatte[1]). Rayleigh ging von der Aufgabe aus, die Zusammensetzung des Wassers mit möglichster Schärfe zu bestimmen[2]). Dazu waren genaue Wägungen von Wasserstoff und Sauerstoff erforderlich, welche Rayleigh einige Jahre später auch auf den Stickstoff ausdehnte[3]). Während nun ein Liter des aus der Luft entnommenen Stickstoffs 1,257 g wog, ergab sich für den aus Ammoniumnitrit und anderen Verbindungen hergestellten Stickstoff ein etwas geringeres Gewicht (1,250 g). Die alsbald auftauchende Vermutung, dafs dem atmosphärischen Stickstoff eine kleine Menge

1) Siehe Seite 291 ds. Bds.

2) Proceedings of the Royal Society, 1889, Vol. XLV, Nr. 278, p. 425.

3) Proceedings of the Royal Society, 1894, Vol. LV, Nr. 334, p. 340.

eines erheblich schwereren Gases beigemengt sei, hat sich darauf bestätigt. Wurde nämlich der Luft zunächst der Sauerstoff und dann der Stickstoff entzogen, so blieb ein schweres Gas zurück, das wegen seiner chemischen Indifferenz Argon genannt wurde. Die Entdeckung dieses Stoffes, dessen genaueres Studium eine der nächsten Aufgaben der chemisch-physikalischen Forschung bleibt, ist, wenn auch schwerzweise, so doch mit Recht als ein Triumph der dritten Decimale, in welcher sich ja erst der Unterschied im Gewicht des chemisch reinen und des atmosphärischen Stickstoffs bemerkbar macht, bezeichnet worden.

Die Zeiten eines Scheele und eines Berzelius, in welchen bescheidene, auch dem Privatmanne erreichbare Mittel genügten, um die der Wissenschaft gestellten Aufgaben zu bewältigen, sind längst vorüber. Um ein Problem auf dem experimentellen Wege bis in seine letzten Konsequenzen zu verfolgen, bedarf es häufig eines Aufwandes an Kosten und an Mühe, der die Kräfte des einzelnen bei weitem übersteigt. So wurde das Gebiet der Kondensation der Gase in den zwanziger Jahren von Faraday durch einfache Versuche erschlossen[1]. Sein Verfahren bestand darin, dafs er Gase aus der Entwicklungsflasche in geschlossene Gefäfse leitete und sie in einigen Fällen unter dem so erzeugten Druck verflüssigte. An die Stelle dieser einfachen Versuchsanordnung trat die Kompressionsmaschine, und als man erkannte, dafs der blofse Druck häufig nicht ausreicht, wandte man gleichzeitig tiefe Temperaturen an. Zu einem gewissen Abschlufs gelangte diese Versuchsreihe erst in unseren Tagen durch die Bemühungen Dewars, der unter einem Druck von 180 Atmosphären auf — 205° abgekühlten Wasserstoff verflüssigte. Mit dem Aufbau des dafür erforderlichen Apparates waren drei Ingenieure ein volles Jahr beschäftigt, sodafs die Schlufsbemerkung Dewars[2], dafs zu derartigen Versuchen in erster Linie Geld gehöre, sehr berechtigt erscheint.

Durch die Anwendung gewaltiger, nur vermöge einer hochentwickelten Technik zur Verfügung stehender Druckkräfte von vielen tausend Atmosphären wurde ferner der seit alters geltende Satz, dafs die Körper nur im gelösten Zustande chemisch wirken[3] einer erheblichen Einschränkung unterworfen. So gelang es, um nur eine der zahlreichen durch Druck bewirkten Umsetzungen zu erwähnen, in einem völlig trockenen Gemisch von Bariumsulfat und

---

[1]) Siehe Seite 371 ds. Bds.

[2]) Nature, 1898, Vol. LVIII, p. 56.

[3]) Corpora non agunt, nisi soluta.

Natriumkarbonat bei gewöhnlicher Temperatur die Bildung von Natriumsulfat und Bariumkarbonat herbeizuführen, indem man das Gemenge einem Drucke von 6000 Atmosphären aussetzte [1]).

Die Anwendung aufserordentlich tiefer Temperaturen, sowie gewaltiger Druckkräfte erschliefst ein unabsehbares Feld für weitere Untersuchungen. Während z. B. die Reaktionsfähigkeit der Materie durch eine Erhöhung des Druckes eine beträchtliche Zunahme erfährt, stellt sich unter dem Einflufs tiefer Temperaturen das Gegenteil ein. So werden die Alkalimetalle bei der Temperatur des siedenden Sauerstoffes von diesem Elemente, für das sie sonst die gröfste Affinität besitzen, überhaupt nicht angegriffen. Eine Abschwächung erfährt auch der Widerstand elektrischer Leiter sodafs vermutlich dieser Widerstand mit der Annäherung an den Nullpunkt der absoluten Temperatur für vollkommen reine Metalle verschwindet.

Auch die Bemühungen sehr hohe Wärmegrade zu erzeugen, eröffnen eine Perspektive auf eine Fülle ungeahnter Fortschritte von technischer und theoretischer Bedeutung. Als das wichtigste Mittel zur Erzielung hoher Temperaturen ist seit etwa einem Jahrzehnt an die Stelle des Knallgasgebläses der elektrische Ofen getreten, ein Apparat, der uns vor kurzem das Calciumcarbid, das Carborund und andere technisch wichtige Verbindungen beschert, sowie die Darstellung des Aluminiums im grofsen ermöglicht hat. Indem man im elektrischen Ofen Kohlenstoff in flüssigem Eisen löste und unter hohem Druck krystallisieren liefs, gelang sogar die Darstellung von Diamanten.

Um das Verhalten flüchtiger Elemente und Verbindungen bei hohen Temperaturen zu studieren und zu wichtigen Schlüssen bezüglich der Konstitution der Materie zu gelangen, sind ergiebige Wärmequellen nicht das einzige Erfordernis, sondern hier handelt es sich in erster Linie um die Beschaffung eines widerstandsfähigen Materiales. An die Stelle des anfänglich benutzten Glases traten Porzellan und Platin, sodafs die Bestimmung der Dampfdichte schliefslich bei 1700° ausgeführt werden konnte. Ein interessantes Ergebnis dieser insbesondere von Victor Meyer angestellten pyrochemischen Untersuchungen besteht darin, dafs die Elemente Chlor, Brom und Jod bei einer Temperatur von 1400° nicht mehr im molekularen Zustande beharren, sondern in ihre Atome gespalten werden, während z. B. Sauerstoff und Stickstoff bei jener Tem-

[1]) Bulletin de la Société chimique de Paris, T. XLIV, p. 166.



peratur ihr molekulares Gefüge noch nicht ändern. Den Bemühungen, Gefäfse herzustellen, welche das Platin an Widerstandsfähigkeit übertreffen und eine Ausdehnung dieser für die Erkenntnis der Konstitution der Materie so überaus wichtigen Versuche ermöglichen, ist Victor Meyer durch seinen allzu frühen Tod entrissen worden. Der Gedanke, im Einklang mit dem periodischen System die zusammengesetzte Natur der Elemente auf pyrochemischem Wege nachzuweisen, wird aber auch für spätere Forscher leitend bleiben, zumal die Hoffnung, auf spektral-analytischem Wege diesen Nachweis zu führen, wenig Aussicht auf Erfüllung bietet.

Während man einerseits die Zurückführung der Elemente auf eine einzige Urmaterie wenigstens in Betracht zieht, sehen wir die analytische Chemie unserer Tage die Zahl der Elemente noch immerfort durch die Entdeckung neuer Grundstoffe vermehren. Neben dem Skandium und dem Germanium, deren Bedeutung für das periodische System wir kennen lernten, sind hier in erster Linie Argon und Helium zu nennen. Hat doch der Entdecker des Germaniums vor kurzem der Meinung Ausdruck verliehen, dafs die Erforschung dieser Elemente einen Anstofs zum weiteren Ausbau, wenn nicht zur Umgestaltung des periodischen Systemes geben werde [1]).

Neben der wachsenden Schärfe der Messungen und der grofsartigen Entwicklung der experimentellen Technik erweist sich ferner die innige Verknüpfung der verschiedenen Wissenschaftsgebiete als eine unerschöpfliche Quelle des Fortschritts. So ist im Verlauf der letzten Decennien aus bescheidenen Anfängen die physikalische Chemie erwachsen, welche neben einer Umgestaltung der chemischen Technik auch einen tieferen Einblick in die Natur der chemischen und der elektrischen Vorgänge herbeizuführen bestrebt ist.

Eingeleitet wurde die neueste Phase in der Entwicklung der Elektrochemie dadurch, dafs Siemens 1867 durch die rein physikalische Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzipes zur Erfindung der Dynamomaschine geführt wurde. Die infolgedessen eintretende Verbilligung der elektrischen Energie kam zunächst dem Hüttenwesen zu gute, da die Abscheidung eines Metalles aus seinen Salzen zu den einfacheren elektrolytischen Vorgängen gehört und oft ein nahezu chemisch reines Erzeugnis liefert. So kommt die elektrolytische Gewinnung des Kupfers z. B. der hohen Leitfähigkeit des reinen Metalles wegen in erster Linie der Elektrotechnik selbst

[1]) Cl. Winkler, Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft. 1897, Jahrg. XXX.

wieder zu gute. Die weitere Ausdehnung der Elektrolyse auf den chemischen Grofsbetrieb, soweit es sich um anorganische Prozesse handelt, scheint nur eine Frage der Zeit zu sein. Selbst die organisch-chemischen Gewerbe beginnen sich in jüngster Zeit des neuen Agens zu bedienen, sodafs das kommende Jahrhundert auf diesen Gebieten sich einer Fülle neuer Aufgaben gegenüber gestellt sieht.

Als Energiequelle stand dem Elektrochemiker zunächst die durch Dampf getriebene Dynamomaschine zu Gebote. Das Bestreben, den neuen elektrolytisch gewonnenen Produkten durch billige Preisstellung den Markt zu erschliefsen, hat in unseren Tagen zu einer stetig wachsenden Benutzung der Kraft des strömenden Wassers geführt. Aber auch die bessere Verwertung des in den fossilen Brennstoffen vorhandenen, leider nur begrenzten Energievorrats gehört zu den Zielen, welche die moderne Elektrochemie zu erreichen verspricht. An die Stelle der Dampferzeugung, welche im günstigsten Falle einen Nutzeffekt von 7 % der in der Kohle aufgespeicherten Energie liefert, würde dann die sofortige Umwandlung der chemischen Spannkraft in elektrischen Strom treten, eine Neuerung, die sich in allen ihren Folgen kaum ausdenken liefse.

Nicht minder belangreich wie die technischen Fortschritte sind die Früchte, welche die innige Verknüpfung der Physik mit der Chemie auf wissenschaftlichem Gebiete zeitigt. Hier sind van 't Hoffs Entdeckung, dafs die Stoffe in der Lösung denselben Gesetzen gehorchen wie im gasförmigen Zustande, sowie die von Arrhenius und Ostwald begründete Theorie der elektrolytischen Dissociation die Etappen, die in erster Linie geeignet scheinen, dem weiteren Eindringen in das Gebiet der Molekularphysik und die Natur des chemischen Prozesses die nötigen Stützen zu gewähren.

Dafs sich nicht nur zwischen den einzelnen Wissenschaften, sondern auch zwischen den Teilgebieten einer und derselben Disziplin noch manche wichtige Beziehung anknüpfen läfst, haben während des verflossenen Decenniums die epochemachenden, die Kluft zwischen der Optik und der Elektricitätslehre überbrückenden Versuche eines Hertz ergeben. Seitdem Faraday im Jahre 1845 die Wirkung des Elektromagneten auf polarisiertes Licht nachgewiesen, hatte sich die Vorstellung entwickelt, dafs nicht nur die optischen, sondern auch die magnetischen und die elektrischen Erscheinungen auf eine Wellenbewegung des Äthers zurückzuführen

seien. Ihren vollkommensten Ausdruck fand diese Überlegung in Maxwells elektromagnetischer Theorie des Lichtes. Den experimentellen Nachweis für die Zulässigkeit der von Maxwell entwickelten Anschauung haben aber erst die erwähnten Versuche von Hertz geliefert. Dieser Forscher zeigte nicht nur, dafs sich die Induktionswirkung wellenförmig und mit gleicher Geschwindigkeit wie das Licht durch den Raum fortpflanzt[1]), sondern er stellte mit den von ihm hervorgerufenen Strahlen elektrischer Kraft alle jene fundamentalen Versuche an, welche unter dem Namen der Reflexion, Brechung und Polarisation auf den Gebieten der Optik und der Wärmelehre seit langem bekannt sind. Und so konnte Hertz nach Abschlufs seiner Experimente ausrufen[2]): „Die Verbindung zwischen Licht und Elektricität, welche die Theorie ahnte, vermutete, voraussah, ist hergestellt. Von dem Punkte, den wir erreicht haben, eröffnet sich ein weiter Ausblick in beide Gebiete. Die Herrschaft der Optik beschränkt sich nicht mehr auf Ätherwellen, welche kleine Bruchteile des Millimeters messen, sie gewinnt Wellen, deren Längen nach Decimetern, Metern, Kilometern rechnen. Und trotz dieser Vergröfserung erscheint sie uns von hier gesehen nur als ein kleines Anhängsel am Gebiete der Elektricität.“ Auf dem durch Hertz erschlossenen Felde der elektrischen Strahlung, das vor kurzem durch die Entdeckung Röntgens noch eine ungeahnte Erweiterung erfuhr, sehen wir heute zahlreiche Forscher thätig. Das letzte von einer Lösung wohl noch weit entfernte Problem, das diesen vorschwebt, ist die Frage nach der Natur des raumerfüllenden Äthers, welcher an die Stelle der früheren Imponderabilien getreten ist, und nach seinem Verhältnis zu der wägbaren Materie. Ob den zu erhoffenden Aufschlüssen gegenüber die atomistische Auffassung des Naturganzen Stand halten oder eine rein energetische an deren Stelle treten wird, hängt von den schliefslichen Erfolgen der hier gestreiften Untersuchungen ab.

Die übrigen Gebiete der Naturwissenschaften stehen heute noch mehr als in den vorangegangenen Epochen unter dem überwiegenden Einflufs der chemisch-physikalischen Forschung. Auf die von letzterer gebotenen Hülfsmittel ist man in erster Linie

---

[1]) Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1888. Seite 197.

[2]) H. Hertz, Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektricität. Ein Vortrag, gehalten auf der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Bonn 1889.

angewiesen, wenn es gilt, Probleme zu lösen, welche das Verhalten der aufserhalb der Erde befindlichen Materie oder die Natur der organisierten Substanz betreffen. So ist der Aufschwung, den die Himmelskunde durch die Erfindung des Fernrohrs erfuhr, kaum gröfser gewesen als derjenige, den in unserem Zeitalter die Einführung des Spektroskops, sowie der photographischen Camera in die astronomische Wissenschaft herbeigeführt hat. Des ferneren hat sich kein physikalischer Grundsatz gleich fruchtbar für diese Disciplin erwiesen als der von Doppler ausgesprochene Gedanke, dafs die Höhe eines Tones, sowie die Art eines Lichteindruckes davon abhängen, ob sich die Entfernung zwischen der Wellenquelle und dem empfindenden Organe vergröfsert oder verringert. Der Versuch dieses Forschers[1]), den Farbenunterschied gewisser Doppelsterne aus seinem Prinzip zu erklären, ist indessen schon aus dem Grunde als mifslungen zu bezeichnen, weil Körpergeschwindigkeiten, welche die Farbe des Lichtes merklich beeinflussen könnten, jedes bekannte Mafs überschreiten würden. Als man aber 1868 kleine Verschiebungen der Linien bekannter Elemente in den Spektren der Sterne wahrnahm, erinnerte man sich des Doppler schen Prinzips, welches jene nach beiden Seiten stattfindenden Verschiebungen nicht nur zu erklären vermochte, sondern auch ein Mittel an die Hand gab, aus dem Grade dieser Verschiebungen die Gröfse der Annäherung und der Entfernung eines Licht spendenden Körpers in absolutem Mafse zu ermitteln, selbst wenn, wie bei Arktur, die Tiefe des zwischenliegenden Raumes so ungeheuer ist, dafs der Lichtstrahl Jahrhunderte gebraucht, um unser Spektroskop zu treffen.

Die Methode der Linienverschiebung ermöglichte es z. B. den Leitern des Potsdamer Observatoriums[2]), eine Erklärung der rätselhaften Erscheinung zu geben, welche Algol im Sternbilde des Perseus den Astronomen seit 200 Jahren bietet. Dieser Stern zeigt nämlich innerhalb der kurzen Zeit von 68 Stunden einen eigentümlichen Lichtwechsel. Nachdem er etwa 60 Stunden als Stern 2. Gröfse geglänzt hat, nimmt er innerhalb 4 Stunden um mehrere Gröfsen ab, wächst dann in derselben Zeit wieder zu einem Gestirn 2. Gröfse an, um diesen Wechsel nach abermals 60 Stunden zu wiederholen. Die spektroskopische Beobachtung

[1]) Doppler, Über das farbige Licht der Doppelsterne. Abhandlungen der Kgl. böhm. Gesellschaft, II. 1843.

[2]) Vogel und Scheiner, siehe Sitzungsbericht der Berliner Akademie der Wissenschaften v. 28. XI. 1889.



hat nun ergeben, dafs sich Algol vor dem Minimum von uns entfernt und nach demselben sich uns wieder nähert. Der Stern besitzt also eine kreisende Bewegung, welche der Periode des Lichtwechsels entspricht. Beide Erscheinungen weisen darauf hin, dafs wie schon früher vermutet wurde, Algol zur Klasse der Doppelsterne gehört, und dafs ein dunkler, sehr naher Begleiter durch seine Vorübergänge jenen eigenartigen Lichtwechel hervorruft.

Auch wo es sich um leuchtende Doppelsterne handelt, welche durch die schärfsten Teleskope nicht getrennt gesehen werden können, giebt das Spektroskop uns Aufschlufs. In diesem Falle werden nämlich die Spektrallinien in bestimmten Zeitintervallen doppelt erscheinen und damit beweisen, dafs das scheinbar einheitliche Licht des Gestirnes von einem sich uns nähernden und von einem sich entfernenden Weltkörper ausgesandt wird[1]). Auch über die Vorgänge, welche sich im Sonnensystem darbieten, hat die spektroskopische Methode Licht verbreitet. Huggins, welcher zuerst die Geschwindigkeit des Sirius bestimmte, ist der Ansicht, dafs man mit Hülfe dieser Methode die wichtigsten Entdeckungen des kommenden Jahrhunderts machen wird[2]). Da das Spektroskop nur die in die Gesichtslinie fallende Bewegungskomponente zu messen gestattet, bedarf es einer Ergänzung durch Bestimmung der senkrecht zu jener Richtung vor sich gehenden Ortsveränderungen. An diesem Punkte nun setzt eine astronomische Aufgabe ein, welche an Bedeutung und an Grofsartigkeit bisher kaum ihres Gleichen hat. Im Jahre 1887 fafste nämlich in Paris eine internationale Konferenz den Beschlufs, eine Himmelskarte auf photographischem Wege herzustellen. 18 Sternwarten, unter denen sich das astrophysikalische Observatorium zu Potsdam befindet, haben sich in diese Aufgabe geteilt. Die Organisation derselben hat bis zur Erledigung der Einzelheiten allein drei Jahre gedauert. Handelt es sich doch um 22000 Aufnahmen, welche alle Sterne bis hinab zur 14. Gröfsenklasse umfassen sollen. Früchte sind von dieser Riesenarbeit aber nur dann zu erhoffen, wenn spätere Generationen sie wiederholen und so die nötigen Vergleichspunkte gewinnen werden. Es ist dies die einzige Möglichkeit, die am Fixsternhimmel periodisch vor sich gehenden Bewegungen, sowie die Bahn des eigenen Systems, dessen augen-

[1]) Ein solches Verhalten zeigen Mizar und $\beta$ Aurigae.

[2]) W. Huggins, Rede zur Eröffnung der British Association, 1891.

blickliche Bewegungsrichtung die Forschungen der letzten Decennien mit einiger Zuverlässigkeit dargethan haben, zu enthüllen.

Wenden wir uns von den fernen Sonnen zu den Gliedern unseres Planetensystems, so sind die Aufgaben, welche sich auch hier dem Astronomen darbieten, nicht weniger interessant und zahlreich, zumal die Begierde, einen Einblick in die auf der Oberfläche der nächsten Himmelskörper stattfindenden Vorgänge zu thun, durch einige Entdeckungen der neueren Zeit in ganz besonderem Grade rege geworden ist. Leider wird das Teleskop die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit wohl bald erreicht haben, sodafs die Hoffnung durch Beobachtung der Marsoberfläche z. B. unverkennbare Spuren lebender Wesen zu finden, kaum jemals in Erfüllung gehen dürfte. Vorläufig bietet auch das organische Leben, wie es sich hier auf der Erde abspielt, der Aufgaben und der Rätsel so viele, dafs es dem forschenden Geiste an Zeit mangelt, sich wissenschaftlichen Träumen über eine Vielheit der Lebewelten hinzugeben.

Seitdem man die höheren Organismen, als einen Komplex von Elementargebilden auffassen gelernt hat, erblickt die Physiologie ihre wichtigste Aufgabe in dem Studium des Verhaltens der einzelnen Zelle mit ihrem protoplasmatischen Inhalt in der Voraussetzung, dafs sie sich hier dem Problem des Lebens in seiner einfachsten Gestalt gegenüber befindet. Bisher hat man sich indessen fast ausschliefslich darauf beschränkt, den Ablauf der Verrichtungen der Zelle, sowie die Reaktionen der lebenden Substanz auf den Angriff der verschiedenartigsten Kräfte nach Art und Gröfse kennen zu lernen. Die wichtige Aufgabe dagegen, den Lebensvorgang selbst als chemisch-physikalischen Prozefs zu deuten, hat sich bisher als wenig zugänglich erwiesen, wenn sich die Physiologie auch von der Überzeugung leiten läfst, dafs es ein, wenn auch äufserst komplizierter Mechanismus ist, dem sie sich gegenüber befindet. So steht z. B. die Botanik der Assimilation, mit dem die Kette der in der Pflanze und dem Tiere vor sich gehenden Prozesse erst beginnt, heute noch ebenso ratlos gegenüber, wie zu den Zeiten Saussures und Liebigs. Selbst die Struktur des Protoplasmas, deren Kenntnis zu den ersten Voraussetzungen für ein tieferes Eindringen in das Wesen dieser Substanz gehört, bedarf nach mancher Richtung noch der Aufklärung, zumal die neuesten mikroskopischen Untersuchungen das unerwartete Resultat ergeben haben, dafs die Plasmakörper der einzelnen Zellen durch feine Fäden miteinander in Verbindung

stehen[1]). Hierdurch erleidet die bisherige Auffassung von der Individualität der Elementarorganismen eine weitgehende Einschränkung, während andererseits nach Erkenntnis dieser Sachlage sich für manches bisher unzugängliche Problem, wie z. B. die Reizfortpflanzung und die Saftleitung, die Möglichkeit einer Lösung eröffnet.

Mit diesem kurzen Hinweis auf einige der wichtigsten unter den zahllosen Aufgaben und Zielen der exakten Forschung ist aber auch das Ziel dieses Buches erreicht. Wir haben das Ringen nach einem Einblick in den Zusammenhang der Naturerscheinungen, dem die Menschheit soviel verdankt, von seinen Anfängen bis auf den heutigen Tag verfolgt. In diesem unermüdlichen Ringen, welches einst Lessing höher als den mühelosen Besitz der Wahrheit schätzte, liegt zugleich die sicherste Gewähr des steten Fortschritts zu höherer Einsicht und Gesittung.

---

[1]) F. Kienitz-Gerloff: Die Protoplasmaverbindungen zwischen benachbarten Gewebselementen in der Pflanze. Botanische Zeitung 1891, Jahrgang XLIX, Nr. 1—5.

# Namen-Register.

## A.



## B.



## C.

## N.



## O.



## P.



## R.



## S.

# Sach-Register.

## L.



## M.



## N.

## T.



## U.



## V.



## W.

Z.

Von demselben Verfasser sind erschienen:

